

ISSN 0024-1148

Номер 3

Май - Июнь 2023



ЛЕСОВЕДЕНИЕ



www.sciencejournals.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2023

Оригинальные статьи

Плотность древесины и коры деревьев на климатических градиентах Евразии <i>В. А. Усольцев, И. С. Цепордей</i>	217
Изменение парцеллярной структуры лиановых широколиственных лесов за 20 лет в Приморском крае <i>Т. А. Москалюк</i>	228
Генеративная сфера сосны обыкновенной как индикатор климатически детерминированной смены жизненных состояний популяций <i>Н. Ф. Кузнецова</i>	244
Площадь питания и рост деревьев в средневозрастных культурах сосны <i>М. В. Рогозин</i>	255
Влияние колоний серой цапли на радиальный прирост деревьев в культурах сосны <i>Ю. П. Демаков, Д. В. Тишин, И. П. Демитрова</i>	269
Оценка функциональной эффективности древесно-кустарниковых видов в городском озеленении на примере Владивостока <i>Н. С. Шихова</i>	277
Геохимические особенности морфометрических фракций торфянистых подстилок в южнотаежных болотных березняках Западной Сибири <i>Т. Т. Ефремова, С. П. Ефремов, А. Ф. Аврова</i>	290

Обзорные статьи

Роль стволовых вредителей в изменении состояния хвойных лесов на северо-западе европейской части России <i>А. В. Селиховкин, Б. Г. Поповичев, М. Ю. Мандельштам, А. С. Алексеев</i>	304
--	-----

Из истории лесной науки

Геоэкологические исследования и принципы ведения хозяйства в горных лесах Северного Кавказа <i>Н. А. Битюков</i>	322
---	-----

CONTENTS

No. 3, 2023

Original Articles

Density of Tree Wood and Bark in Climatic Gradients of Eurasia <i>V. A. Usoltsev and I. S. Tsepordey</i>	217
Changes in a Parcel Structure of Liana-Broadleaved Forests in Primorsky Region Over 20 Years <i>T. A. Moskalyuk</i>	228
Scots Pine Generative Sphere as an Indicator of the Climate-Determined Change in Vital States of the Populations <i>N. F. Kuznetsova</i>	244
Feeding Area and Growth of Trees in the Middle-Aged Pine Plantations <i>M. V. Rogozin</i>	255
Grey Heron Colonies Affect the Radial Growth of Trees in Pine Plantations <i>Yu. P. Demakov, D. V. Tishin, and I. P. Demitrov</i>	269
Comparative Assessment of the Functional Efficiency of Arboriflora Species Composition in Urban Green Spaces <i>N. S. Shikhova</i>	277
Geochemical Peculiarities of the Peat Litter's Morphometric Fractions in the Swamp Birch Forests of Western Siberia's Southern Taiga <i>T. T. Efremova, S. P. Efremov, and A. F. Avrova</i>	290

Overviews

The Role of the Stem Pests in Changing the Condition of Coniferous Forests of the North-West of the European Part of Russia <i>A. V. Selikhovkin, B. G. Popovichev, M. Yu. Mandel'shtam, and A. S. Alekseyev</i>	304
--	-----

Annals of Forest Science

Geoecological Research and Management Principles in the Northern Caucasus' Mountain Forests <i>N. A. Bityukov</i>	322
---	-----

УДК 630*52:630*174.754

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ НА КЛИМАТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ

© 2023 г. В. А. Усольцев^{a, b, *}, И. С. Цепордей^a

^aБотанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, д. 202а, Екатеринбург, 620144 Россия

^bУральский государственный лесотехнический университет,
ул. Сибирский тракт, д. 37, Екатеринбург, 620100 Россия

*E-mail: Usoltsev50@mail.ru

Поступила в редакцию 22.02.2022 г.

После доработки 25.03.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

В условиях изменяющегося климата возрастает биосферная роль лесного покрова и актуальность исследований углероддепонирующей способности мировых лесов. Эти исследования содержат оценку биологической продуктивности деревьев и древостоев, включающей не только фитомассу, но и базисную плотность (БП) древесины и коры стволов. В нашем исследовании разработаны аллометрические модели БП древесины и коры деревьев 9 лесообразующих древесных видов Северной Евразии, имеющие такие независимые переменные, как возраст дерева, диаметр ствола, а также среднюю температуру января и среднегодовые осадки. Применена структура модели смешанного типа, в которой принадлежность исходных данных к каждому из древесных видов кодируется набором фиктивных переменных. На основе принципа пространственно-временного замещения полученные закономерности изменения БП в пространственных климатических градиентах использованы для прогноза их изменения в темпоральных градиентах. Подтверждено действие закона лимитирующего фактора Либиха при прогнозировании БП в пространственных и темпоральных климатических градиентах. Выявленные закономерности изменения БП древесины и коры деревьев в градиентах температур и осадков полностью повторяют ранее установленные закономерности изменения фитомассы и чистой первичной продукции деревьев и древостоев Евразии в тех же градиентах. Это означает, что климатическая обусловленность биологической продуктивности имеет общий характер как для количественных, так и для квалиметрических показателей деревьев и древостоев.

Ключевые слова: квалиметрические показатели, принцип пространственно-временного замещения, аллометрические модели, лимитирующие факторы, температура воздуха, осадки.

DOI: 10.31857/S0024114823030117, EDN: PXLDDUA

В условиях изменяющегося климата возрастает биосферная роль лесного покрова и актуальность исследований углероддепонирующей способности мировых лесов. Сегодня формируются глобальные базы данных не только о фитомассе деревьев и древостоев (Falster et al., 2015; Kattge et al., 2020), но и о квалиметрических показателях фитомассы, в частности, базисной плотности (БП) стволовой древесины (Zanne et al., 2009; Usoltsev, 2020), составляющей основную часть надземной фитомассы. Эти базы данных предоставляют необходимую исходную информацию для глобальных прогнозов углероддепонирующей способности лесов. Показатель плотности древесины, используемый при преобразовании данных о запасах стволовой древесины в показатели фитомассы, является ключевым фактором, влияющим на точность оценки депонирования углерода (Fearn-

side, 1997; Усольцев, Цепордей, 2020). С другой стороны, изменения климата, в частности учащающиеся засухи в некоторых регионах, влияют на физиологические процессы, определяющие ксилогенез и БП древесины (Bouriaud et al., 2005; Vieira et al., 2020).

Закономерности изменения БП древесины были проанализированы в связи с географической широтой, типом леса, температурой и осадками (Howe, 1974; Полубаяринов, 1976; Kellomäki, 1979; Мелехов и др., 2003; Swenson, Enquist, 2007; Wiemann, Williamson, 2002; St-Germain, Krause, 2008). Было показано (Zhang, Shi, 2003), что географическое положение является определяющим фактором роста деревьев. Положительная связь БП древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с температурой была установлена разными авторами на территории Финляндии,

но эта связь характеризовалась низкими коэффициентами детерминации (Mikola, 1950; Saikku, 1975; Kellomäki, 1979).

На глобальном уровне сделан анализ изменчивости базисной плотности древесины в широтном диапазоне от 52° с. ш. до экватора, и установлено увеличение плотности на 0.5% на каждый градус среднегодовой температуры и снижение на 0.02% на каждый сантиметр среднегодовых осадков (Wiemann, Williamson, 2002). Рассматриваемая отдельно среднегодовая температура оказалась лучшим предиктором базисной плотности в зоне умеренных лесов (в диапазоне от 3 до 22°C), объясняя 80% изменчивости искомого показателя, по сравнению со всем исследуемым температурным диапазоном с объясненной изменчивостью 62% или по сравнению с теплыми тропическими районами (>23°C) с объясненной изменчивостью 33%. Напротив, только уровень среднегодовых осадков был лучшим предиктором базисной плотности в теплых тропических регионах (62%) по сравнению со всем исследуемым температурным диапазоном (4%) (Wiemann, Williamson, 2002).

По результатам анализа более 4600 таксонов установлена положительная связь БП древесины покрытосеменных и голосеменных растений со среднегодовой температурой и максимальной месячной температурой. Отрицательная корреляция между БП древесины и осадками была обнаружена у покрытосеменных растений. Значительная отрицательная корреляция установлена между БП древесины и высотой над ур. м. (Swenson, Enquist, 2007).

Таким образом, или выполнялось исследование изменчивости БП под влиянием различных эндо- и экзогенных факторов для отдельных древесных видов в пределах некоторого региона, или имелись обобщения планетарного уровня для совокупности видов. При моделировании фитомассы деревьев и древостоев на трансконтинентальном уровне в последние годы показано действие закона лимитирующего фактора Либиха с применением принципа пространственно-временного замещения (Усольцев и др., 2021; Usoltsev et al., 2022). Насколько нам известно, аналогичные результаты исследований изменения БП древесины и коры в климатических градиентах Евразии в открытых источниках отсутствуют.

В нашей статье была поставлена цель ответить на следующие вопросы:

- действует ли закон лимитирующего фактора на трансконтинентальном уровне при моделировании изменений БП древесины и коры деревьев лесообразующих видов Евразии в связи с территориально обусловленными показателями температур и осадков;

- используя принцип пространственно-временного замещения, проверить возможность

применения построенных моделей БП древесины и коры деревьев, чувствительных к территориальным градиентам температур и осадков, при прогнозировании изменений БП деревьев во времени;

- определить вклады независимых переменных построенных моделей в объяснение изменчивости БП древесины и коры деревьев;

- установить, реагирует ли БП древесины и коры деревьев на изменения температур и осадков аналогично реакции на них фитомассы деревьев и древостоев, одинаковой для всех видов, или же реакция БП на климатические изменения будет видоспецифичной и отличной от ранее установленных реакций фитомассы на климатические сдвиги.

Известно, что показатели БП варьируют не только вдоль по стволу, но и в поперечном сечении ствола (Полубояринов, 1976; Исаева, 1978; Fujimoto et al., 2008; Télles et al., 2011; Sousa et al., 2016; Billard et al., 2021). В настоящем исследовании мы уходим от анализа изменчивости БП вдоль и поперек ствола и ограничиваемся моделированием показателей БП, средних для всего ствола дерева.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Для решения поставленных задач мы использовали авторскую базу эмпирических данных о БП лесообразующих пород Северной Евразии (Usoltsev, 2020). Из нее отобрано 3448 модельных деревьев, распределение которых по древесным видам (родам) представлено в табл. 1. Были отобраны наиболее многочисленные данные, которыми характеризовались основные лесообразующие виды, при условии наличия в числе измеренных характеристик деревьев полного набора дендрометрических и квалитметрических показателей. Деревья, не обладающие полным набором данных, в наших расчетах не участвовали. Упомянутая база данных содержит координаты пробных площадей, где были получены сведения о модельных деревьях. Используя эти координаты, мы определили соответствующие территориальные показатели средней температуры января и среднегодового количества осадков по соответствующим климатическим картам (World Weather Maps, 2007). Эти климатические карты были показаны в нашей предыдущей публикации (Usoltsev et al., 2022).

Эмпирические данные БП на пробных площадях получены по 3–10 дискам, выпиленным вдоль по стволу. БП (отдельно древесины и коры) рассчитана в результате обмера и взвешивания дисков, сушки до постоянной массы и повторного взвешивания. БП всего ствола рассчитана как

Таблица 1. Статистики показателей 3448 модельных деревьев, включенных в регрессионный анализ

Обозначение статистик	Анализируемые показатели					
	<i>A</i>	<i>d</i>	<i>DW</i>	<i>DB</i>	<i>T</i>	<i>PR</i>
Сосна обыкновенная и чёрная (<i>Pinus sylvestris</i> L., <i>P. nigra</i> subsp. <i>Pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe)						
Mean	46	12.5	398.4	290.7	−14	378
Min	5	1.1	254.0	264.3	−25	317
Max	186	55.0	640.4	636.4	−3	570
SD	33.5	9.5	52.1	61.9	3.8	87.9
CV, %	72.8	76.3	13.1	21.3	−27.2	23.2
<i>n</i>	966	957	966	966	966	966
Кедр сибирский и корейский (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour., <i>P. koraiensis</i> S. et Z.)						
Mean	42	9.3	354.7	717.9	−18	522
Min	15	1.5	245.8	298.7	−19	500
Max	165	29.3	509.9	969.5	−10	826
SD	37.5	6.7	51.1	214.4	2.3	82.4
CV, %	90.4	71.5	14.4	29.9	−12.4	15.8
<i>n</i>	74	74	74	74	74	74
Лиственница сибирская, Сукачева и Каяндера (<i>Larix sibirica</i> L., <i>L. Sukaczewii</i> N.Dyl., <i>L. cajanderi</i> Mayr.)						
Mean	81	13.7	511.7	335.8	−26	401
Min	15	0.3	382.4	186.3	−30	317
Max	400	52.8	735.5	545.3	−15	444
SD	73.2	8.9	43.0	69.7	5.6	60.3
CV, %	90.5	64.7	8.4	20.8	−21.5	15.1
<i>n</i>	193	194	194	194	194	194
Ель европейская, сибирская и аянская (<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst., <i>P. obovata</i> L., <i>P. ajanensis</i> (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr.)						
Mean	48	12.4	393.7	432.4	−15	528
Min	11	1.0	255.0	176.7	−17	500
Max	163	51.5	648.1	866.7	0	826
SD	32.6	10.2	64.1	125.3	4.1	58.7
CV, %	68.0	81.8	16.3	29.0	−27.9	11.1
<i>n</i>	278	278	278	278	278	278
Пихта белая, сибирская и цельнолистная (<i>Abies alba</i> Mill., <i>A. sibirica</i> L., <i>A. holophylla</i> Maxim.)						
Mean	70	20.3	364.2	429.2	−10	585
Min	8	1.6	272.8	299.1	−17	500
Max	180	46.2	513.0	606.7	−5	826
SD	40.2	11.0	41.3	71.1	5.5	107.7
CV, %	57.6	54.2	11.3	16.6	−55.0	18.4
<i>n</i>	92	92	92	92	92	92
Береза пушистая, повислая, ребристая, плосколистная и даурская (<i>Betula verrucosa</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth., <i>B. costata</i> Trautv., <i>B. platyphylla</i> Suk., <i>B. dahurica</i> Pall.)						
Mean	43	14.1	499.2	532.7	−15	415
Min	4	1.0	352.3	215.1	−30	317
Max	142	48.0	769.4	1083.3	−5	826
SD	22.8	8.0	45.9	97.8	4.5	123.2
CV, %	52.7	56.9	9.2	18.4	−29.4	29.7
<i>n</i>	898	900	900	900	900	900

Таблица 1. Окончание

Обозначение статистик	Анализируемые показатели					
	<i>A</i>	<i>d</i>	<i>DW</i>	<i>DB</i>	<i>T</i>	<i>PR</i>
Осина, тополь Давида (<i>Populus tremula</i> L., <i>P. davidiana</i> Dode)						
Mean	32	15.7	417.3	468.0	−15	379
Min	3	1.1	301.0	311.0	−18	317
Max	57	45.7	500.0	692.0	−5	826
SD	13.1	9.0	23.7	36.1	4.8	111.4
CV, %	41.3	57.1	5.7	7.7	−32.0	29.4
<i>n</i>	317	317	317	317	317	317
Липа мелколистная, амурская и маньчжурская (<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>T. amurensis</i> Rupr., <i>T. mandshurica</i> Rupr. & Maxim.)						
Mean	52	17.7	415.8	483.8	−15	588
Min	10	3.1	252.3	248.5	−16	570
Max	115	38.6	647.8	900.0	−10	826
SD	22.2	8.4	73.6	105.5	2.1	65.2
CV, %	42.4	47.7	17.7	21.8	−14.2	11.1
<i>n</i>	202	202	202	202	202	202
Дуб черешчатый и монгольский (<i>Quercus robur</i> L., <i>Q. mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.)						
Mean	41	16.4	582.8	412.8	−5	574
Min	6	1.9	450.0	269.6	−10	570
Max	166	50.5	800.0	800.0	−5	826
SD	23.9	9.4	50.6	71.4	0.6	32.6
CV, %	58.2	57.1	8.7	17.3	−12.5	5.7
<i>n</i>	425	425	425	425	425	425

Примечание. Mean, Min и Max соответственно среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; *n* – число наблюдений; *A* – возраст дерева, лет; *d* – диаметр ствола на высоте груди, см; *T* – средняя температура января, град.; *PR* – среднегодовые осадки, мм; *DW* и *DB* – соответственно базисная плотность древесины и коры, кг/м³. Необходимость анализа БП по средней температуре января, а не по среднегодовой или летней температуре была обоснована ранее (Usoltsev et al., 2020a, 2020b).

средневзвешенная по площади поперечного сечения дисков.

В нашем предыдущем анализе фракционного состава фитомассы деревьев рода Лиственница (*Larix* Mill.) и ее связи с климатическими факторами была реализована следующая структура модели (Usoltsev et al., 2020b):

$$\ln Pi = a_{0i} + a_{1i} (\ln A) + a_{2i} (\ln d) + a_{3i} (\ln h) + a_{4i} (\ln d)(\ln h) + a_{5i} [\ln (T + 50)] + a_{6i} (\ln PR), \quad (1)$$

где *h* – высота дерева, м; *Pi* – фитомасса *i*-й фракции (стволы, ветви, хвоя), кг. При подборе структуры модели для БП мы взяли за основу модель (1), дополнив ее комбинированной независимой переменной $[\ln(T + 50)](\ln PR)$, характеризующей совместное действие температуры и осадков. С целью учета нелинейности исследуемой закономерности применена аллометрическая форма модели, предполагающая процедуру линеаризации путем логарифмирования переменных. Посколь-

ку в районах многолетней мерзлоты температура января иногда приближается к −40...−50°C, для выполнения процедуры линеаризации температура *T* модифицирована к виду $(T + 50)$.

При моделировании биомассы деревьев получили распространение модели смешанного типа (Fu et al., 2012; Zeng, 2017). Аллометрическая модель смешанного типа включает два типа независимых переменных – численные, принимающие значения из непрерывного ряда чисел, и фиктивные переменные, представляющие дискретные качественные характеристики (Freese, 1964). Путем ввода в модель фиктивных переменных кодируются (опосредуются) свойства нескольких обособленных уровней (Дрейпер, Смит, 1973). Поскольку аллометрические закономерности относительно схожи у различных древесных видов (родов), строится модель биомассы смешанного типа для нескольких древесных видов одновременно (Fu et al., 2012; Zeng, 2017).

Древесные виды представлены в базе данных крайне неравномерно: от 966 по сосне обыкновенной до 74 деревьев по кедром сибирскому и корейскому. Разная представленность видов как в климатических градиентах в пределах ареалов, так и по общему количеству наблюдений может быть причиной возможных отклонений от той общей реакции видов, которая обусловлена общностью воздействия на них биоэкологических и климатических факторов (Molteberg, Nøibø, 2007). Исходя из качественного уровня имеющейся базы данных, мы предполагаем, руководствуясь принципом “гармонизации” видоспецифичных закономерностей (Jacobs, Cunia, 1980), построить аллометрические модели БП смешанного типа, включающие как численные (дендрометрические показатели и климатические переменные), так и фиктивные переменные, кодирующие видовую принадлежность исходных данных (табл. 2). Возможное влияние обеспеченности элементами питания и других связанных факторов на БП (Castro et al., 2021) в нашем исследовании не рассматривается.

Мы приняли следующую структуру аллометрической модели смешанного типа:

$$\ln(DW) \text{ и } \ln(DB) = a_0 + b_1 \ln(A) + b_2 \ln(d) + b_3 \ln(h) + b_4 \ln[\ln(T + 50)] + b_5 \ln(\ln PR) + b_6 [\ln(T + 50)](\ln PR) + \Sigma a_i X_i, \quad (2)$$

где $\Sigma a_i X_i$ – блок фиктивных переменных в количестве $(i + 1)$; a_0 – свободный член уравнения, скорректированный на логарифмическое преобразование модели (Baskerville, 1972); $b_1...b_6$ – регрессионные коэффициенты при численных переменных уравнения. В процессе регрессионного анализа высота дерева как независимая переменная оказалась коррелированной с возрастом дерева и статистически незначимой, т.к. критерий Стьюдента составил 0.6 для DW и 1.5 для DB ($p < 0.05$), и она была исключена из структуры модели (2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате регрессионного анализа получены модели:

– для БП древесины ствола:

$$\ln(DW) = 18.3231 + 0.0694 \ln A - 0.0451 \ln d - 3.5227 \ln(T + 50) - 2.1416 \ln(PR) + 0.6053 [\ln(T + 50)](\ln PR) - 0.1235 X_1 + 0.2638 X_2 - 0.0553 X_3 - 0.1670 X_4 + 0.2060 X_5 + 0.0463 X_6 + 0.0121 X_7 + 0.2973 X_8; \quad (3)$$

$$adjR^2 = 0.621; SE = 0.11;$$

Таблица 2. Схема кодирования фиктивными переменными 9 лесобразующих видов Евразии

Вид (род)	Блок фиктивных переменных							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Сосна	0	0	0	0	0	0	0	0
Кедр	1	0	0	0	0	0	0	0
Лиственница	0	1	0	0	0	0	0	0
Ель	0	0	1	0	0	0	0	0
Пихта	0	0	0	1	0	0	0	0
Береза	0	0	0	0	1	0	0	0
Осина	0	0	0	0	0	1	0	0
Липа	0	0	0	0	0	0	1	0
Дуб	0	0	0	0	0	0	0	1

– и для БП коры ствола:

$$\ln(DB) = 57.7517 - 0.0334 \ln A - 0.0299 \ln d - 14.5700 \ln(T + 50) - 8.4924 \ln(PR) + 2.3879 \times [\ln(T + 50)](\ln PR) + 0.8044 X_1 + 0.0468 X_2 + 0.2878 X_3 + 0.2575 X_4 + 0.4970 X_5 + 0.3526 X_6 + 0.4504 X_7 + 0.1445 X_8; \quad (4)$$

$$adjR^2 = 0.565; SE = 0.20.$$

Численные переменные в уравнениях (3) и (4) оказались значимыми на уровне $p < 0.0001$. Уравнения (3) и (4) действительны в пределах диапазона варьирования независимых переменных для каждого вида (табл. 1). Судя по знакам регрессионных коэффициентов переменных A и d , БП древесины имеет положительную корреляцию с возрастом дерева и отрицательную – с диаметром ствола. И та, и другая закономерности связаны с увеличением доли поздней древесины в годичном кольце и подтверждаются ранее выполненными исследованиями других авторов (Howe, 1974; Lachowicz et al., 2019). В отличие от БП древесины, БП коры имеет с возрастом отрицательную связь вследствие возрастного увеличения доли корки (Андреева, Родман, 2003).

Чтобы выполнить анализ изменений БП в координатах температур и осадков, мы подставляем в уравнения средние значения A и d из табл. 1 и делаем трехмерную геометрическую интерпретацию уравнений на примере сосны обыкновенной. Использование фиктивных переменных в моделях (3) и (4) означает, что различия БП разных древесных видов определяются лишь сдвигом свободного члена уравнений по оси абсцисс при постоянстве регрессионных коэффициентов численных переменных. Поэтому мы строим трех-

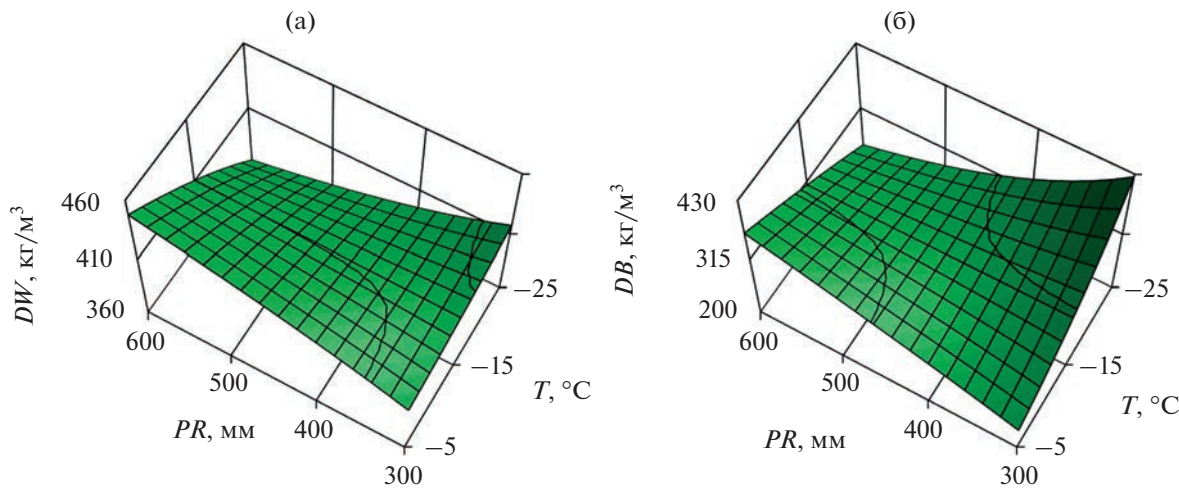


Рис. 1. Изменение расчетных значений БП древесины (а) и коры (б) стволов сосны обыкновенной в территориальных градиентах зимних температур и осадков. Обозначения см. в табл. 1.

мерное изображение зависимости БП древесины и коры от климатических переменных только для одного вида, в частности, для сосны обыкновенной (рис. 1), поскольку для остальных древесных видов конфигурация трехмерных поверхностей изменения БП в координатах температур и осадков повторяется.

Результаты регрессионного анализа дали возможность оценить вклады дендрометрических и климатических переменных, а также видовой принадлежности деревьев в объяснение изменчивости БП древесины и коры стволов (Лиёпа, 1980).

Судя по данным табл. 3, дендрометрические переменные объясняют изменчивость БП на уровне от 4 до 15%, климатические переменные – от 11 до 19%, и наибольший вклад в объяснение общей изменчивости БП вносит видовой принадлежность деревьев – от 74 до 77%. Это соответствует выводу о том, что внутривидовая изменчивость БП несопоставимо меньше по сравнению с межвидовой (Kerfriden et al., 2021).

На основе принципа пространственно-временного замещения (Усольцев, Цепордей, 2021б) мы использовали закономерности изменения базисной плотности древесины и коры в пространственных градиентах температур и осадков для прогнозирования изменений названных показате-

лей при возможном увеличении средней температуры января на 1°C, предполагая неизменными осадки, и при возможном сокращении годовичных осадков на 20 мм, предполагая неизменной температуру. Для этого мы взяли первую производную от 3D-зависимостей в координатах температур и осадков, показанных на рис. 1, и результаты графически представили на рис. 2 и 3. Подробности построения рис. 2 и 3 были изложены ранее (Усольцев, Цепордей, 2021а). Реакция БП на предполагаемые темпоральные изменения температур и осадков показана на рис. 2 и 3 в процентном выражении, и процент увеличения БП показан красным, а процент снижения – голубым цветом.

В нашем предыдущем исследовании, посвященном изменчивости надземной фитомассы деревьев и древостоев основных лесообразующих видов Евразии под влиянием зимних температур и годовичных осадков, были показаны возможности применения климатически обусловленных моделей фитомассы при прогнозировании ее темпоральных изменений на основе принципа пространственно-временного замещения. В результате реализации принципов лимитирующего фактора Либиха и пространственно-временного замещения была установлена общая для основных древесных видов (родов) закономерность: в

Таблица 3. Вклад дендрометрических переменных, климатических переменных и видовой принадлежности в объяснение изменчивости БП древесины и коры стволов, %

Номер модели	$\ln A$ (I)	$\ln d$ (II)	(I) + (II)	$\ln(T + 50)$ (III)	$\ln PR$ (IV)	$[\ln(T + 50)](\ln PR)$ (V)	(III) + (IV) + (V)	$\Sigma a_i X_i$
(3)	8.7	6.6	15.3	3.3	3.5	3.6	10.6	74.1
(4)	2.0	2.0	4.0	6.2	6.2	6.3	18.7	77.3

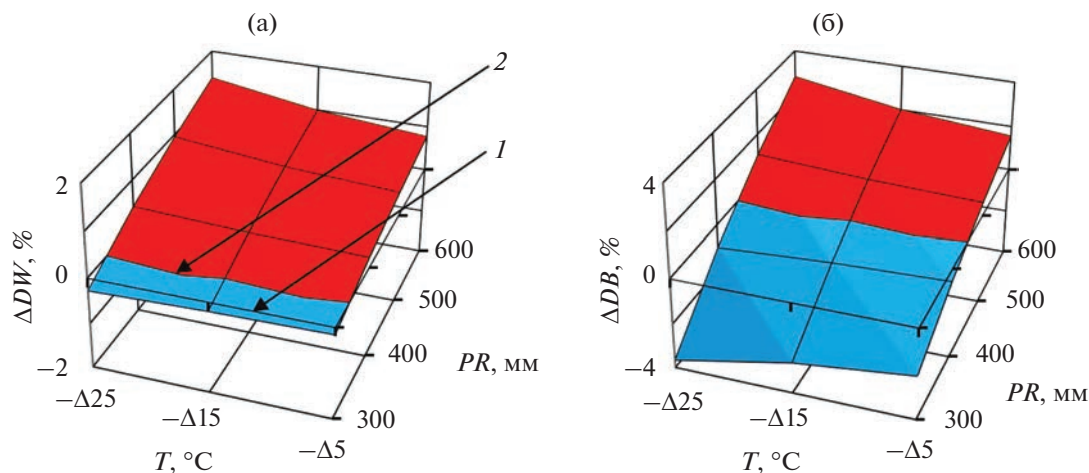


Рис. 2. Изменение БП древесины (а) и коры (б) сосны обыкновенной при повышении температуры на 1°C в связи с ожидаемым изменением климата на разных территориальных уровнях температур и осадков. Здесь и далее: (1) — плоскость, соответствующая нулевому изменению БП при ожидаемом повышении температуры на 1°C ; (2) — линия разграничения положительных и отрицательных изменений БП при ожидаемом повышении температуры на 1°C .

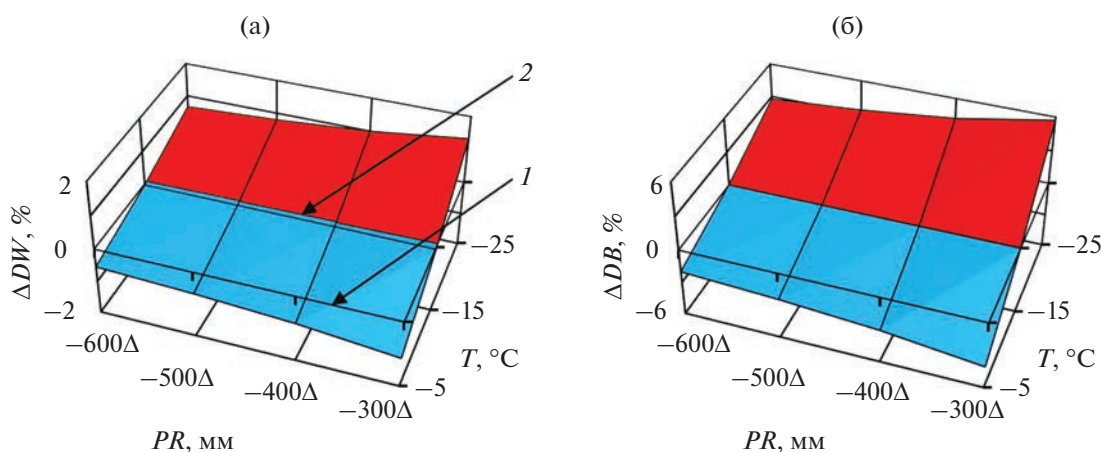


Рис. 3. Изменение БП древесины (а) и коры (б) сосны обыкновенной при сокращении среднегодовых осадков на 20 мм в связи с ожидаемым изменением климата на разных территориальных уровнях температур и осадков.

достаточно влагообеспеченных климатических поясах повышение температуры вызывает увеличение фитомассы, а во влагодефицитных поясах — ее снижение; в теплых климатических поясах сокращение уровня осадков вызывает снижение фитомассы, а в холодных — ее увеличение, т.е. в обоих случаях происходит смена лимитирующего фактора. Это означает, что в одних условиях лимитирующим фактором является как недостаток, так и избыток тепла, а в других — как недостаток, так и избыток осадков относительно некоторой нормы. Тем самым было показано проявление закона лимитирующего фактора по отношению к фитомассе деревьев и древостоев на трансконтинентальном уровне (Усольцев, Цепордей, 2021a, 2021б; Усольцев и др., 2021), причем по отношению не

только к фитомассе деревьев и древостоев, но и к чистой первичной продукции (ЧПП) древостоев (Usoltsev et al., 2022).

Судя по рис. 1–3, закономерности изменения БП древесины и коры в градиентах температур и осадков у всех 9 древесных видов (родов) Евразии полностью повторяют закономерности изменения надземной фитомассы деревьев и древостоев. Таким образом, в градиентах температур и осадков на территории Евразии происходит смена лимитирующего фактора по показателям как фитомассы деревьев и фитомассы и ЧПП древостоев, так и БП древесины и коры основных лесообразующих видов. Подобная смена лимитирующего фактора была показана на примере радиального прироста березы (Фонти, 2020). На меридиональ-

ном трансекте в северной тайге Сибири лимитирующим фактором является температура, а в зоне степи — осадки, при этом смена лимитирующего фактора происходит в подзоне средней тайги.

ВЫВОДЫ

В ответ на поставленные задачи нашего исследования мы можем резюмировать:

- при моделировании изменений БП древесины и коры деревьев лесобразующих видов Евразии в связи с территориально обусловленными показателями температур и осадков на трансконтинентальном уровне подтверждено действие закона лимитирующего фактора;

- вклады независимых переменных в объяснение изменчивости БП древесины и коры составили: дендрометрических переменных — от 4 до 15%, климатических переменных — от 11 до 19% и видовой принадлежности деревьев — от 74 до 77%.

- показана возможность применения построенных моделей БП древесины и коры деревьев, чувствительных к территориальным изменениям температур и осадков, при прогнозировании изменений БП деревьев во времени на основе принципа пространственно-временного замещения;

- установлена общая для основных древесных видов закономерность смены лимитирующего фактора: в достаточно влагообеспеченных климатических поясах повышение температуры вызывает увеличение как БП древесины и коры, так и фитомассы деревьев и древостоев, а во влагодефицитных поясах — ее снижение; в теплых климатических поясах сокращение осадков вызывает снижение БП и фитомассы, а в холодных — ее увеличение. В одних условиях лимитирующим фактором является как недостаток, так и избыток тепла, а в других — как недостаток, так и избыток осадков относительно некоторой нормы. Таким образом, климатическая обусловленность исследуемых биопродукционных показателей имеет общий характер как для количественных, так и для квалитетических показателей деревьев и древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева И.И., Родман Л.С. Ботаника. М.: КолосС, 2003. 528 с.
- Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
- Лиена И.Я. Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
- Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
- Исаева Л.Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение. 1978. № 4. С. 90–94.
- Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. 110 с.
- Усольцев В.А., Цепордей И.С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества: монография. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, Ботанический сад УрО РАН, 2020. 182 с. (CD-ROM). https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/10022/1/Usolcev_20.pdf
- Усольцев В.А., Цепордей И.С. Климатически обусловленные территориальные изменения фитомассы деревьев лесобразующих видов Евразии и их прогнозирование // Сибирский лесной журн. 2021а. № 6. С. 72–90.
- Усольцев В.А., Цепордей И.С. Принцип пространственно-временного замещения в экологии и прогнозирование биомассы *Picea* spp. при изменении климата // Хвойные бореальной зоны. 2021б. Т. 39. № 4. С. 269–275.
- Усольцев В.А., Цепордей И.С., Азаренок М.В. Климатически обусловленные пространственные и темпоральные изменения биомассы рода *Abies* spp. Евразии в контексте закона лимитирующего фактора // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39. № 5. С. 392–400.
- Фонти М.В. Климатический сигнал в параметрах годичных колец (плотности древесины, анатомической структуре и изотопном составе) хвойных и лиственных видов деревьев в различных природно-климатических зонах Евразии: дис. ... докт. биол. наук: 03.02.08. Красноярск: СибФУ, 2020. 45 с.
- Baskerville G.L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian J. Forest Research. 1972. V. 2. P. 49–53.
- Billard A., Bauer R., Mothe F., Colin F., Longuetaud F. Vertical variations in wood basic density for two softwood species // European J. Forest Research. 2021. V. 140. P. 1401–1416.
- Bouriaud O., Leban J.-M., Bert D., Deleuze C. Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce // Tree Physiology. 2005. V. 25. P. 651–660.
- Castro V.R., Chambi-Legoas R., Filho M.T., Surdi P.G., Zanuncio J.C., Zanuncio A.J.V. The effect of soil nutrients and moisture during ontogeny on apparent wood density of *Eucalyptus grandis* // Scientific Reports. 2021. V. 11. № 1. Article 2530. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59559-2>
- Falster D.S., Duursma R.A., Ishihara M.I., Barneche D.R., FitzJohn R.G., Vårhammar A., Aiba M., Ando M., Anten N., Aspinwall M.J., Baltzer J.L., Baraloto C., Battaglia M., Battles J.J., Bond-Lamberty B., van Breugel M., Camac J., Claveau Y., Coll L., Dannoura M., Delagrangé S., Domec J.-C., Fatemi F., Feng W., Gargaglione V., Goto Y., Hagihara A., Hall J.S., Hamilton S., Harja D., Hiura T., Holdaway R., Hutley L.S., Ichie T., Jokela E.J., Kantola A., Kelly J.W.G., Kenzo T., King D., Kloeppel B.D., Kohyama T., Komiyama A., Laclau J.-P., Lusk C.H., Maguire D.A., le Maire G., Mäkelä A.,

- Markestijn L., Marshall J., McCulloh K., Miyata I., Mokany K., Mori S., Myster R.W., Nagano M., Naidu S.L., Nouvellon Y., O'Grady A.P., O'Hara K.L., Ohtsuka T., Osada N., Osunkoya O.O., Peri P.L., Petritan A.M., Poorter L., Portsmouth A., Potvin C., Ransijn J., Reid D., Ribeiro S.C., Roberts S.D., Rodríguez R., Saldaña-Acosta A., Santa-Regina I., Sasa K., Selaya N.G., Sillett S.C., Sterck F., Takagi K., Tange T., Tanouchi H., Tissue D., Umehara T., Utsugi H., Vadeboncoeur M.A., Valladares F., Vanninen P., Wang J.R., Wenk E., Williams R., Ximenes F. de Aquino, Yamaba A., Yamada T., Yamakura T., Yanai R.D., York R.A. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // Ecology. 2015. V. 96. Article 1445.
- Fearnside P.M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia // Forest Ecology and Management. 1997. V. 90. № 1. P. 59–89.
- Freese F. Linear regression methods for forest research. USDA Forest Service. Res. Paper FPL 17. Madison, 1964. 136 p.
- Fu L.Y., Zeng W.S., Tang S.Z., Sharma R.P., Li H.K. Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China // J. Forest Science. 2012. V. 58. № 3. P. 101–115.
- Fujimoto T., Kita K., Kuromaru M. Genetic control of intraring wood density variation in hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) // Wood Science and Technology. 2008. V. 42. P. 227–240.
- Howe J.P. Relationship of climate to the specific gravity of four Costa Rican hardwoods, an exploratory study // Wood Fiber. 1974. V. 5. P. 347–352.
- Jacobs M.W., Cunia T. Use of dummy variables to harmonize tree biomass tables // Canadian J. Forest Research. 1980. V. 10. № 4. P. 483–490.
- Kattge J., Bönsch G., Díaz S., Lavorel S., Prentice I.C., Leadley P., Tautenhahn S. et al. TRY plant trait database – Enhanced coverage and open access // Global Change Biology. 2020. V. 26. P. 119–188.
- Kellomäki S. On geoclimatic variation in basic density of Scots pine wood // Silva Fennica. 1979. V. 13. № 1. P. 55–64.
- Kerfriden B., Bontemps J.-D., Leban J.-M. Variations in temperate forest stem biomass ratio along three environmental gradients are dominated by interspecific differences in wood density // Plant Ecology. 2021. V. 222. № 3. P. 289–303.
- Lachowicz H., Bieniasz A., Wojtan R. Variability in the basic density of silver birch wood in Poland // Silva Fennica. 2019. V. 53. № 1. Article id 9968.
- Mikola P. On variations in tree growth and their significance to growth studies // Communicationes Instituti forestalis Fenniae. 1950. V. 38. № 5. P. 1–131.
- Molteberg D., Høibø O. Modelling of wood density and fibre dimensions in mature Norway spruce // Canadian J. Forest Research. 2007. V. 37. № 8. P. 1373–1389.
- Saikku O. The effect of fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). A densitometric study on the X ray chart curves of wood // Communicationes Instituti forestalis Fenniae. 1975. V. 85. № 3. P. 1–49.
- Sousa V.B., Louzada J.L., Pereira H. Age trends and within-site effects in wood density and radial growth in *Quercus faginea* mature trees // Forest Systems. 2016. V. 25. № 1. Article e053.
- St-Germain J.-L., Krause C. Latitudinal variation in tree-ring and wood cell characteristics of *Picea mariana* across the continuous boreal forest in Quebec // Canadian J. Forest Research. 2008. V. 38. № 6. P. 1397–1405.
- Swenson N.G., Enquist B.J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community – wide variation across latitude and elevation // American J. Botany. 2007. V. 94. № 3. P. 451–459.
- Télles J.R.G., Martínez A.V., de la Rosa A.B., Grande J.C., Mendoza C.P. Radial variation of basic density in *Pinus patula* Schltdl. et Cham. in three locations from Hidalgo state // Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 2011. V. 2. № 7. P. 71–78.
- Usoltsev V.A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-mono-graph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>
- Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Tsepordey I.S., Chasovskikh V.P. On some differences in the response of *Picea* spp. and *Abies* spp. single-tree biomass structure to changes in temperatures and precipitation in Eurasia // Environment and Ecology. 2020a. V. 38. P. 300–315.
- Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Tsepordey I.S., Chasovskikh V.P. Additive model of aboveground biomass of larch single-trees related to age, DBH and height, sensitive to temperature and precipitation in Eurasia // J. Applied Sciences & Environmental Management. 2020b. V. 24. P. 1759–1766.
- Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of *Pinus* sp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor // Ecological Questions. 2022. V. 33. № 1. P. 15–23. <https://doi.org/10.12775/EQ.2022.007>
- Vieira J., Carvalho A., Campelo F. Tree growth under climate change: Evidence from xylogenesis timings and kinetics // Frontiers in Plant Science. 2020. V. 11. Article 90.
- Wiemann M.C., Williamson G.B. Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature and precipitation // Wood and Fiber Science. 2002. V. 34. № 1. P. 96–107.
- World Weather Maps, 2007. <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather>
- Zanne A.E., Lopez-Gonzalez G., Coomes D.A., Illic J., Jansen S., Lewis S.L., Miller R.B., Swenson N.G., Wiemann M.C., Chave J. Global wood density database. Dryad, 2009. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>
- Zeng W.S. Developing tree biomass models for eight major tree species in China. In: Biomass volume estimation and valorization for energy. Chapter 1. Intech Publ., 2017. P. 3–21.
- Zhang L., Shi H. Local modeling of tree growth by geographically weighted regression // Forest Science. 2003. V. 50. № 2. P. 225–244.

Density of Tree Wood and Bark in Climatic Gradients of Eurasia

V. A. Usoltsev^{1, 2, *} and I. S. Tsepordey¹

¹Botanical Garden, Ural Branch of the RAS, 8 Marta st. 202a, Yekaterinburg, 620144 Russia

²Ural State Forest Engineering University, Sibirsky tract, 37, Yekaterinburg, 620100 Russia

*E-mail: Usoltsev50@mail.ru

Under the conditions of climate changing, the biospheric role of forest cover is increasing, as well as the relevance of research on the carbon depositing capacity of the world's forests. These studies include an assessment of the trees' and stands' biological productivity, which includes not only phytomass, but also the basic density (BD) of stem wood and bark. In our study, allometric models of the BD of wood and bark of 9 forest-forming tree species of Northern Eurasia have been developed, including such independent variables as the tree age, the stem diameter, as well as the average temperature of January and average annual precipitation. The structure of a mixed-effects model is applied, in which the affiliation of the source data to each of the tree species is encoded by a set of dummy variables. Based on the space-for-time substitution principle, the obtained patterns of BD changes in spatial climatic gradients are used to predict their changes in temporal gradients. The effect of Liebig's law of limiting factor in predicting BD in spatial and temporal climatic gradients has been confirmed. The revealed patterns of changes in the BD of wood and bark in temperature and precipitation gradients completely repeat the previously established patterns of changes in phytomass and net primary production of trees and stands of Eurasia in the same gradients. This means that the climatic conditionality of the studied indicators of biological productivity has a common nature for both quantitative and qualitative indicators of trees and stands.

Keywords: *qualimetric indicators, the principle of space-for-time substitution, allometric models, limiting factors, air temperature, precipitation.*

REFERENCES

- Andreeva I.I., Rodman L.S., *Botanika* (Botany), Moscow: KolosS, 2003, 528 p
- Baskerville G.L., Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass, *Canadian J. Forest Research*, 1972, Vol. 2, pp. 49–53.
- Billard A., Bauer R., Mothe F., Colin F., Longuetaud F., Vertical variations in wood basic density for two softwood species, *European J. Forest Research*, 2021, Vol. 140, pp. 1401–1416.
- Bouriaud O., Leban J.-M., Bert D., Deleuze C., Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce, *Tree Physiology*, 2005, Vol. 25, pp. 651–660.
- Castro V.R., Chambi-Legoas R., Filho M.T., Surdi P.G., Zanuncio J.C., Zanuncio A.J.V., The effect of soil nutrients and moisture during ontogeny on apparent wood density of *Eucalyptus grandis*, *Scientific Reports*, 2021, Vol. 11, No. 1, Article 2530. doi 10.1038/s41598-020-59559-2
- Dreiper N., Smit G., *Prikladnoi regressionnyi analiz* (Applied regression analysis), Moscow: Finansy i statistika, 1986, 366 p.
- Falster D.S., Duursma R.A., Ishihara M.I., Barneche D.R., FitzJohn R.G., Vårhammar A., Aiba M., Ando M., Anten N., Aspinwall M.J., Baltzer J.L., Baraloto C., Battaglia M., Battles J.J., Bond-Lamberty B., van Breugel M., Camac J., Claveau Y., Coll L., Dannoura M., Delagrange S., Domec J.-C., Fatemi F., Feng W., Gargaglione V., Goto Y., Hagihara A., Hall J.S., Hamilton S., Harja D., Hiura T., Holdaway R., Hutley L.S., Ichie T., Jokela E.J., Kantola A., Kelly J.W.G., Kenzo T., King D., Kloeppel B.D., Kohyama T., Komiya A., Laclau J.-P., Lusk C.H., Maguire D.A., le Maire G., Mäkelä A., Markesteijn L., Marshall J., McCulloh K., Miyata I., Mokany K., Mori S., Myster R.W., Nagano M., Naidu S.L., Nouvellon Y., O'Grady A.P., O'Hara K.L., Ohtsuka T., Osada N., Osunkoya O.O., Peri P.L., Petritan A.M., Poorter L., Portsmouth A., Potvin C., Ransijn J., Reid D., Ribeiro S.C., Roberts S.D., Rodríguez R., Saldaña-Acosta A., Santa-Regina I., Sasa K., Selaya N.G., Sillett S.C., Sterck F., Takagi K., Tange T., Tanouchi H., Tissue D., Umehara T., Utsugi H., Vadeboncoeur M.A., Valladares F., Vanninen P., Wang J.R., Wenk E., Williams R., Ximenes F. de Aquino, Yamaba A., Yamada T., Yamakura T., Yanai R.D., York R.A., BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants, *Ecology*, 2015, Vol. 96, Article 1445.
- Fearnside P.M., Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia, *Forest Ecology and Management*, 1997, Vol. 90, No. 1, pp. 59–89.
- Fonti M.V., *Klimaticheskii signal v parametrakh godichnykh kolets (plotnosti drevesiny, anatomicheskoi strukture i izotopnom sostave) khvoynykh i listvennykh vidov derev'ev v razlichnykh prirodno-klimaticheskikh zonakh Evrazii. Avtoref. diss. dokt. biol. nauk* (Climatic signal in tree ring parameters (wood density, anatomical structure and isotope composition) of coniferous and deciduous tree species in various climatic zones of Eurasia. Extended abstract of Doctor's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: SibFU, 2020, 45 p.
- Freese F., *Linear regression methods for forest research*, USDA Forest Service, Res. Paper FPL 17, Madison, 1964. 136 p.
- Fu L.Y., Zeng W.S., Tang S.Z., Sharma R.P., Li H.K., Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China, *J. Forest Science*, 2012, Vol. 58, No. 3, pp. 101–115.
- Fujimoto T., Kita K., Kuromaru M., Genetic control of intra-ring wood density variation in hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*), *Wood Science and Technology*, 2008, Vol. 42, pp. 227–240.

- Howe J.P., Relationship of climate to the specific gravity of four Costa Rican hardwoods, an exploratory study, *Wood Fiber*, 1974, Vol. 5, pp. 347–352.
- Isaeva L.N., Metod rascheta lokal'noi i srednei plotnosti absolutno sukhoi drevesiny v stvolakh sosny i listvennitsy (Method of calculating the local and average density of absolutely dry wood in the trunks of pine and larch), *Lesovedenie*, 1978, No. 4, pp. 90–94.
- Jacobs M.W., Cunia T., Use of dummy variables to harmonize tree biomass tables, *Canadian J. Forest Research*, 1980, Vol. 10, No. 4, pp. 483–490.
- Kattge J., Bönsch G., Díaz S., Lavorel S., Prentice I.C., Leadley P., Tautenhahn S. et al., TRY plant trait database – Enhanced coverage and open access, *Global Change Biology*, 2020, Vol. 26, pp. 119–188.
- Kellomäki S., On geoclimatic variation in basic density of Scots pine wood, *Silva Fennica*, 1979, Vol. 13, No. 1, pp. 55–64.
- Kerfriden B., Bontemps J.-D., Leban J.-M., Variations in temperate forest stem biomass ratio along three environmental gradients are dominated by interspecific differences in wood density, *Plant Ecology*, 2021, Vol. 222, No. 3, pp. 289–303.
- Lachowicz H., Bieniasz A., Wojtan R., Variability in the basic density of silver birch wood in Poland, *Silva Fennica*, 2019, Vol. 53, No. 1, Article id: 9968.
- Liepa I.Y., *Dinamika drevesnykh zasposov: Prognozirovanie i ekologiya* (Wood Stock Dynamics: Forecast and Ecology), Riga: Zinatne, 1980, 170 p.
- Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A., *Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh* (The quality of pine wood in crops), Arkhangelsk: Izd-vo Arangel'skogo gos. tekhn. universiteta, 2003, 110 p.
- Mikola P., On variations in tree growth and their significance to growth studies, *Communicationes Instituti forestalis Fenniae*, 1950, Vol. 38, No. 5, pp. 1–131.
- Molteberg D., Høibø O., Modelling of wood density and fibre dimensions in mature Norway spruce, *Canadian J. Forest Research*, 2007, Vol. 37, No. 8, pp. 1373–1389.
- Poluboyarinov O.I., *Plotnost' drevesiny* (The density of wood), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1976, 159 p.
- Saikkku O., The effect of fertilization on the basic density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). A densitometric study on the X ray chart curves of wood, *Communicationes Instituti forestalis Fenniae*, 1975, Vol. 85, No. 3, pp. 1–49.
- Sousa V.B., Louzada J.L., Pereira H., Age trends and within-site effects in wood density and radial growth in *Quercus faginea* mature trees, *Forest Systems*, 2016, Vol. 25, No. 1, Article e053.
- St-Germain J.-L., Krause C., Latitudinal variation in tree-ring and wood cell characteristics of *Picea mariana* across the continuous boreal forest in Quebec, *Canadian J. Forest Research*, 2008, Vol. 38, No. 6, pp. 1397–1405.
- Swenson N.G., Enquist B.J., Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community – wide variation across latitude and elevation, *American J. Botany*, 2007, Vol. 94, No. 3, pp. 451–459.
- Télles J.R.G., Martínez A.V., de la Rosa A.B., Grande J.C., Mendoza C.P., Radial variation of basic density in *Pinus patula* Schltdl. et Cham. in three locations from Hidalgo state, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2011, Vol. 2, No. 7, pp. 71–78.
- Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I., Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of *Pinus* sp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor, *Ecological Questions*, 2022, Vol. 33, No. 1, pp. 15–23. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2022.007>
- Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Tsepordey I.S., Chasovskikh V.P., On some differences in the response of *Picea* spp. and *Abies* spp. single-tree biomass structure to changes in temperatures and precipitation in Eurasia, *Environment and Ecology*, 2020a, Vol. 38, pp. 300–315.
- Usoltsev V.A., *Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia*: CD-monograph, Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020, available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>
- Usolt'sev V.A., Tsepordei I.S., Azarenok M.V., Klimaticheskii obuslovlennyye prostranstvennyye i temporal'nye izmeneniya biomassy roda *Abies* spp. Evrazii v kontekste zakona limitiruyushchego faktora (Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of *Abies* L. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor), *Khvoynye boreal'noi zony*, 2021, Vol. 39, No. 5, pp. 392–400.
- Usolt'sev V.A., Tsepordei I.S., Klimaticheskii obuslovlennyye territorial'nye izmeneniya fitomassy derev'ev lesobrazuyushchikh vidov Evrazii i ikh prognozirovanie (Climatically caused territorial changes in the phytomass of forest-forming tree species of Eurasia and their forecasting), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2021a, No. 6, pp. 72–90.
- Usolt'sev V.A., Tsepordei I.S., *Kvalimetriya fitomassy lesnykh derev'ev: plotnost' i sodержanie sukhogo veshchestva* (Qualimetry of forest tree biomass: density and dry matter content), Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, Botanicheskii sad UrO RAN, 2020, 182 p., available at: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/10022/1/Usoltcev_20.pdf
- Usolt'sev V.A., Tsepordei I.S., Printsip prostranstvenno-vremennogo zameshcheniya v ekologii i prognozirovanie biomassy *Picea* spp. pri izmenenii klimata (The principle of space-for-time substitution in ecology and the prediction of *Picea* spp. biomass with climate change), *Khvoynye boreal'noi zony*, 2021b, Vol. 39, No. 4, pp. 269–275.
- Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Tsepordey I.S., Chasovskikh V.P., Additive model of aboveground biomass of larch single-trees related to age, DBH and height, sensitive to temperature and precipitation in Eurasia, *J. Applied Sciences & Environmental Management*, 2020b, Vol. 24, pp. 1759–1766.
- Vieira J., Carvalho A., Campelo F., Tree growth under climate change: Evidence from xylogenesis timings and kinetics, *Frontiers in Plant Science*, 2020, Vol. 11, Article 90.
- Wiemann M.C., Williamson G.B., Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature and precipitation, *Wood and Fiber Science*, 2002, Vol. 34, No. 1, pp. 96–107.
- World Weather Maps, 2007, available at: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather>
- Zanne A.E., Lopez-Gonzalez G., Coomes D.A., Ilic J., Jansen S., Lewis S.L., Miller R.B., Swenson N.G., Wiemann M.C., Chave J., *Global wood density database*, Dryad, 2009, Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>
- Zeng W.S., Developing tree biomass models for eight major tree species in China, In: *Biomass volume estimation and valorization for energy*, Chapter 1, Intech Publ., 2017, pp. 3–21.
- Zhang L., Shi H., Local modeling of tree growth by geographically weighted regression, *Forest Science*, 2003, Vol. 50, No. 2, pp. 225–244.

УДК 630*182+581.55(571.63)

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ЛИАНОВЫХ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЗА 20 ЛЕТ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ¹

© 2023 г. Т. А. Москалюк*

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
проспект 100-летия Владивостока, д. 159, Владивосток, 692022 Россия

*E-mail: tat.moskaluk@mail.ru

Поступила в редакцию 13.05.2022 г.

После доработки 09.06.2022 г.

Принята к публикации 18.10.2022 г.

Изучение динамики парцеллярной структуры лесов Приморского края необходимо для выявления закономерностей естественного восстановления уникальной формации региона — коренных хвойно-широколиственных лесов. В результате хозяйственной деятельности эти леса, насыщенные реликтовыми элементами, сменились производными на большей части ареала. Исследования проводились в водосборном бассейне р. Комаровки (Южное Приморье, Уссурийский район). В статье приведены результаты изучения парцеллярной структуры широколиственно-липового с лианами лешинового разнотравного типа леса — репрезентативного для региона и самого сложного в формации производных лесов. Метод исследований классический: на постоянной пробной площади (ППП) выполнено детальное описание и картирование в масштабе 1 : 100 всех ярусов фитоценоза с последующим попарным сравнением картосхем и выделением парцелл. Анализ трансформации фитоценоза за 20 лет восстановительной сукцессии показал, что основные лесоводственно-таксационные характеристики насаждения изменились незначительно. В древостое почти полностью выпала осина и значительная часть одной из главных пород — липы. Одновременно укрепились позиции подлеска и видов деревьев, характерных для коренных хвойно-широколиственных лесов. Изменения в парцеллярной структуре свидетельствуют об успешном восстановлении коренного типа леса: в фитоценозе число парцелл уменьшилось с 12 до 10; к шести условно-коренным добавилась еще одна. Общими остались 6 парцелл, все они условно-коренные. Произошло закономерное укрупнение и условно-коренных парцелл и выравнивание их границ. Отражена высокая индикаторная роль травяного яруса.

Ключевые слова: парцеллярная структура, лесообразовательный процесс, производные широколиственные леса, коренные хвойно-широколиственные леса, восстановительная сукцессия, Приморский край.

DOI: 10.31857/S0024114823030075, EDN: PTRRVO

Сохранение функций и услуг лесных экосистем в условиях прогнозируемых изменений окружающей среды имеет решающее значение для всего человечества. Общая площадь лесов на планете, по данным Организации Объединенных Наций, сократилась с 1990 г. по 2015 г. на 3%, ежегодные темпы потери лесопокрытой площади в период с 2010 по 2015 год составили 3.3 млн га год⁻¹ (Keenan et al., 2015). Проблемам, прямо или косвенно связанным с утратой биоразнообразия и предотвращением негативного антропогенного воздействия на леса, посвящены многочисленные публикации (Исаев и др., 1997; Caspersen, Pacala, 2001; Hector, Bagchi, 2007; Gao et al., 2014;

Усольцев, 2019; Лукина и др., 2020; Тебенкова и др., 2021; Elliot и др., 2022; и др.).

В число целевых задач, обозначенных в Стратегическом плане Конвенции о биологическом разнообразии планеты, входит сохранение и восстановление коренных лесов с высоким потенциалом биоразнообразия (UNSPF, 2017). Это полностью согласуется с долгосрочными планами России, владеющей 46% площади лесов мира (Стратегия ..., 2014) и обладающей самым высоким типологическим разнообразием лесных формаций. В их число входят хвойно-широколиственные леса Приморского края, определяющие уникальность и своеобразие природы региона. Отсутствие покровного оледенения в доисторические времена и благоприятные современные растительные условия обусловили высокую насыщенность приморских лесов реликтовыми и

¹ Исследования финансировались из бюджета для выполнения госзадания по теме “Изучение и мониторинг наземных биологических ресурсов юга Дальнего Востока России” (шифр 0207-2021-0003), № 121031000120-9.

эндемичными видами. Всемирным фондом дикой природы они включены в список особо ценных природных объектов планеты.

Доминанты хвойно-широколиственных лесов: кедр корейский (*Pinus koraiensis*²) и пихта цельнолистная (*Abies holophylla*), их спутники: липа амурская (*Tilia amurensis*) и липа маньчжурская (*T. mandshurica*), граб сердцелистный (*Carpinus cordata*), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*), калопанакс, или диморфант, семиллопастный (*Kalopanax septemlobus*), бархат амурский (*Phellodendron amurense*) и другие многочисленные реликты маньчжурской флоры неспособны быстро реагировать на изменения среды, вызываемые антропогенными факторами. Насаждения с перечисленными видами утрачивают средообразующие функции даже при малом нарушении системной целостности. В настоящее время им грозит полное исчезновение (Ковалев и др., 2020).

В результате длительных выборочных рубок и пожаров площадь дальневосточных кедровников с 1929 г. по 2001 г. уменьшилась в 1.9 раза (Корякин, Челышев, 2009). В Приморском крае с 1989 г. по 2010 г. она сократилась в 1.4 раза — с 3.04 до 2.16 млн га (Сибирина, 2014) и продолжает сокращаться. Главный современный фактор гибели лесов — пожары. В кедровниках края из-за пожаров произошла смена типов леса более чем на 1.5 млн га (Иванов и др., 2022). Перестойные кедровники в Приморье к концу минувшего столетия были уничтожены полностью (Петропавловский, 2004). Девственные чернопихтовые леса, северная граница которых проходит по Южному Приморью, остались только на заповедных территориях.

Одной из самых распространенных формаций в крае со второй половины минувшего столетия стала производная формация широколиственных лесов. В конце прошлого века на эти леса в южной части Приморского края приходилось около 20% площади гослесфонда (Кудинов, 2000). В настоящее время доля площади лесов с доминированием широколиственных пород составляет уже более 22% (Распределение площади ..., 2021).

Для своевременного выявления негативных последствий, вызываемых разными причинами, и принятия правильных решений по их предупреждению и (или) ликвидации важное значение имеет мониторинг состояния экосистем и динамики экосистемных функций, или лесообразовательного процесса. Изучение лесообразовательного процесса необходимо также для выявления закономерностей естественного восстановления коренной хвойно-широколиственной формации и представляет одно из главных направлений дальнево-

сточного лесоведения (Петропавловский, 2004; Ковалев и др., 2020).

В связи с этим особую актуальность приобретают изучение и мониторинг парцеллярной структуры, в которой отражается состояние сообщества в любой период его жизнедеятельности. Анализ структуры позволяет выявить важные функциональные особенности сообщества на каждой стадии онтогенеза в зависимости от лесорастительных условий, лесообразующих пород и воздействия экзогенных и эндогенных факторов (Дылис, 1974; Mestre et al., 2017; Spicer et al., 2020).

При относительно высокой общей изученности лесов Приморья многие аспекты их функционально-пространственной организации исследованы слабо. Начало исследованиям по горизонтальной структуре лесов Приморского края было положено в середине минувшего столетия известным геоботаником П.Д. Ярошенко (Иванова и др., 1963) в лесах Уссурийского заповедника. Через двадцать лет их продолжила Н.А. Крупянко (1983). В разные годы подобные исследования проводились в пихтово-еловых лесах Северного Сихотэ-Алиня (Комарова, 1978), кедрово-широколиственных лесах Сихотэ-Алиня (Максимова, 1987) и широколиственно-кедровых лесах Среднего (Комарова, 1993), Южного и Северного Сихотэ-Алиня (Возмищева, Перепелкина, 2015). Авторами перечисленных работ исследовались девственные леса. На всех объектах основное внимание уделялось мозаике травяного яруса, морфологической согласованности его структуры с внутриценотической средой. В конце минувшего и начале текущего столетий объектами изучения пространственной неоднородности стали производные леса Горнотаёжной станции ДВО РАН (Москалюк, 2006, 2021; Москалюк, Тарасова, 2015; и др.). Публикации по динамике парцеллярной структуры лесных фитоценозов в Приморском крае отсутствуют.

Целью наших исследований было изучение парцеллярной структуры и ее трансформации за 20 лет в широколиственно-липовом с лианами лешиновом разнотравном лесу — репрезентативном и самом сложном из производных типов леса на юге Приморского края. Для достижения этой цели запланировано выявление видового состава и особенностей пространственного распределения видов и их группировок с учетом приуроченности к конкретным микросайтам, изучение характера взаимоотношений между растительными ярусами, выделение и детальное описание ценоэлементов в пределах ярусов и фитоценоза, анализ изменения структурных элементов во времени и пространстве.

² Латинские названия видов указаны по сводке “Сосудистые растения советского Дальнего Востока” (1985–1996).



Рис. 1. Широколиственно-липовый с лианами лещиновым разнотравный тип леса. Фрагмент “актинидиевой” парцеллы весной.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Район исследований — окрестности пос. Горнотаёжное (Уссурийский район) в пределах бассейна р. Комаровки, входящего в систему водосборного бассейна Японского моря. По лесорастительному зонированию Д.И. Назимовой (2015), территория района исследований относится к зоне смешанных широколиственно-хвойных лесов с дубом Дальневосточного муссонно-континентального сектора, по известному ботанико-географическому районированию Б.П. Колесникова (1969), район исследований входит в южную подзону зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов южной фации кедровников с пихтой цельнолистной бассейнов рек, впадающих в залив Петра Великого. Природные условия этой подзоны, как и всего Южного Приморья, определяются муссонным климатом, положением относительно Японского моря и преобладанием низкорельефа с высотами до 1000 м н.у.м. Отсутствие покровного оледенения в доисторические времена и благоприятный современный климат обусловили очень высокое биологическое разнообразие как на видовом, так и на экосистемном уровнях.

Леса в районе исследований в основном производные, типичные для районов Южного При-

морья (Кудинов, 2000). К инсолируемым склонам южных экспозиций приурочены монодоминантные сухие дубняки, к теневым склонам северных экспозиций с мягким микроклиматом и высоким плодородием равномерно увлажненных почв — полидоминантные широколиственные леса. В связи с прекращением температурной инверсии, в средних частях теневых склонов складываются оптимальные лесорастительные условия. Именно в них формируются полидоминантные леса с теплолюбивыми видами лиан — актинидией острой (*Actinidia arguta*) и актинидией коломикта (*A. kolomicta*) — чернопихтарники и грабовые варианты кедровников с запасами древесины до $800 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (Васильев, Колесников, 1962).

Объект исследований — широколиственно-липовый с лианами лещиновым разнотравный тип леса (рис. 1) — расположен в 1.5 км к северо-востоку от поселка в средней части северо-северо-восточного склона и занимает территорию с 200 до 400 м от подножия склона. Поверхность склона сравнительно ровная, с террасовидными элементами микрорельефа в виде небольших выпуклостей и понижений; уклон составляет в среднем около 15° , в местах перегиба может варьировать от 5° до 40° . Высотные отметки склона — от 170 (подножие) до 270 (водораздел) м н.у.м., протяженность — 610 м.

Методы исследований. В 1997–1998 гг. в “лиановом” фитоценозе заложена ППП размером $60 \times 70 \text{ м}$, в 2018 г. проведена ее ревизия. Координаты северо-восточного угла пробной площади: $43^\circ 42' 272''$ с.ш. и $132^\circ 09' 611''$ в.д. Исследования проводились в соответствии с рекомендациями В.Н. Сукачева (1961) и А.И. Уткина (1982). Размеры и форма пробной площади отвечают требованиям ОСТа 56-69-83 (1983) — на ней представлены более 200 деревьев главных лесообразователей и все ценоэлементы структуры фитоценоза.

В 1997 г. были описаны местоположение и экологические условия пробной площади, выполнен сплошной пересчет деревьев с указанием их жизненного состояния. Таксационные показатели пород рассчитывались по региональным справочным материалам (Справочник..., 1990). Предварительно пробная площадь была разбита на клетки — квадраты $10 \times 10 \text{ м}$. Для растительных ярусов составлены картосхемы в масштабе 1 : 100 с указанием на них центров стволов и крон деревьев, проекций кустарников и контуров микрогруппировок травяного яруса. Картирование нижних ярусов проводилось следующим летом, так как при работе с древостоем травы были сильно измяты.

Травяной ярус — высокоинформативный индикатор экологических условий в фитоценозе (Назимова и др., 2015; Рубцов, Рыбакова, 2019). Большое внимание в работе уделялось изучению его горизонтальной структуры, в которой нагляд-

но отражается взаимодействие факторов внешней и внутренней среды с ценопопуляциями видов. За основной структурный элемент яруса принята микрогруппировка — однородная по составу видов, проективному покрытию и жизненному состоянию совокупность растений одного участка. Контуры микрогруппировок на план наносились относительно границ клеток и расположения оснований деревьев и куртин кустарников. Картирование выполнялось с 3-ей декады мая до конца июня — периода, когда эфемероиды исчезли еще не полностью, а летние травы отросли настолько, что можно было установить границы их синуз. Характеристики микрогруппировок (приуроченность к микрорельефу, проективное покрытие, габитус и обилие растений каждого вида по шкале Друде) определялись по самому крупному и типичному фрагменту. Минимальная площадь выделения — 0.5 м².

Названия микрогруппировок травяного яруса соответствовали названию вида-доминанта (шлемниковая, василистниковая, адиантовая) или группе видов-содоминантов со сходной экологией (осоковая, разнотравная, мелкотравная). При значении проективного покрытия менее 60% название микрогруппировки дополнялось словом “разреженная”, при менее 40% — словом “редкопокровная”.

Основным ценоэлементом фитоценоза принята парцелла в трактовке Н.В. Дылиса (1969), так как при ее выделении учитывались характеристики всех ярусов и условий экотопа. Парцеллы выделялись на основании попарного сравнительного анализа картосхем и описаний ярусов. Объективность выделения парцелл подтверждена методом графов. Флористическое сходство между парцеллами вычислялось с помощью критерия Жаккара, характеризующего степень сходства участков (клеток ППП) растительного покрова по качественным (число видов) и количественным (обилие видов, проективное покрытие) признакам (Дуденко, 2012). В названия парцелл — по аналогии с названиями типов леса — включались названия эдификаторных видов древостоя и подлеска (при сомкнутости кустарников выше 0.6.) и фонообразующей микрогруппировки травяного яруса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Широколиственно-липовый с лианами лещиновый разнотравный тип леса³ представляет заключительную стадию восстановительной сукцессии. Он сформировался на месте чернопихово-широ-

колиственного леса, пройденного выборочной рубкой и огнем в середине прошлого века. Он включает более 110 видов высших сосудистых растений, отличаясь от ранее произраставшего насаждения лишь отсутствием пихты цельнолистной. Такие леса принято считать условно-коренными (Манько, 1984; цит. по работе Кудинова, 2000).

Трансформация фитоценоза, произошедшая с 1997 г. по 2018 г., обусловлена естественной динамикой древостоя (табл. 1). За 20 лет в насаждении почти полностью исчезла осина (*Populus tremula*), по 63% от прежнего числа выпало деревьев ясеня (ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica*) и ясеня носолистного (*F. rhynchophylla*)) и мааки амурской (*Maackia amurensis*). Из главных пород больше всего деревьев “потеряла” липа — около 32% от общего числа; в основном выпали перестойные и тонкомерные деревья. У дуба монгольского (*Quercus mongolica*) выпало только 2.5%, у ореха — не более 1%. При этом увеличилась численность пород, характерных для свиты хвойно-широколиственных лесов: граба, кленов — в большей степени клена ложнозибольдова (*Acer pseudoboldianum*), ильма лопастного (*Ulmus laciniata*), мелкоплодника (*Micromeles alnifolia*). Формула состава (по запасу) изменилась мало: 1997 г. — 5Лп3Д1Км1Яс + И, Ор, ед. Бд, Дмр, Ос, Ма, Г; 2018 г. — 4Лп3Д1Км1Ор1Яс + И, Бд, Дмр, ед. Ма, Г. Прежними остались видовой состав древостоя — 22 вида и распределение деревьев по площади — равномерное. Средний диаметр древостоя увеличился у деревьев 1-го яруса (высота 16 м и выше) — на 2–3 ступени толщины, у деревьев 2-го яруса — на 1–2 ступени.

Сомкнутость крон по-прежнему высокая — 0.95, но за счет отпада древостоя снизилась степень перекрытия крон. Как следствие, улучшилась освещенность под пологом леса, за исключением микросайтов с деревьями, в кронах которых расплелись лианы актинидии. Улучшение световых условий обеспечило повышение жизненности подроста и подлеска.

В подросте в достаточном количестве (около 7 тыс. экз. га⁻¹) представлены все виды древостоя. В конце минувшего столетия на склоне единично росли особи мелкого подроста пихты. Они погибли рано весной 1998 г. после низового пожара. Лиственные кустарники за несколько лет восстановились полностью. Пробную площадь огонь не затронул.

Среди 11 видов кустарников на протяжении всего периода исследований преобладали лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica*) и чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius*), обычными были трескун и особенно в 2018 г. калина бузейская (*Viburnum burejanum*). Общая сомкнутость подлеска увеличилась всего на 0.1 ед. — с 0.5–0.6 до 0.6–0.7, но в пределах фитоценоза уси-

³ Далее для краткости широколиственно-липовый с лиановой растительностью лещиновый разнотравный тип леса будет называться по главной своей особенности “лиановым”, северо-северо-восточный склон — северным.

Таблица 1. Таксационные показатели растущего древостоя

Индекс вида	Число деревьев, шт. га ⁻¹		Средние				Площадь сечения стволов, м ² га ⁻¹		Запас, м ³ га ⁻¹		Полнота (рассчитана по запасу)	
			диаметр, см		высота, м							
	1997 г.	2018 г.	1997 г.	2018 г.	1997 г.	2018 г.	1997 г.	2018 г.	1997 г.	2018 г.	1997 г.	2018 г.
Лп	276	188	22.6	27.1	16.7	17.5	11.1	10.81	92.4	87.3	0.40	0.30
Д	100	88	30.2	36.9	17.4	17.6	7.36	9.40	56.5	74.2	0.21	0.25
Км	129	148	17.3	14.2	12.0	11.1	3.01	3.00	20.9	20.3	0.21	0.19
Ясм, Ясн	50	19	18.6	26.2	15.1	18.2	1.37	1.03	9.55	9.70	0.07	0.05
Ор	24	19	24.5	33.1	15.5	16.9	1.12	1.64	8.01	12.82	0.03	0.08
Иг, Ид	24	31	15.9	15.4	14.2	14.0	0.47	0.58	5.58	5.26	0.21	0.20
Ма	19	12	13.1	18.2	11.6	12.9	0.26	0.31	1.63	2.12	0.02	0.02
Гр	10	16	11.4	11.3	8.3	8.3	0.25	0.39	1.28	1.99	<0.01	<0.1
Дмр	9	9	22.9	30.5	15.1	16.5	0.29	0.52	2.13	4.09	0.01	0.02
Клжб	40	52	7.6	8.6	6.7	7.0	0.16	0.31	0.67	1.3	<0.1	<0.1
Тр	40	24	6.6	7.8	—	—	0.14	0.11	—	—	<0.01	<0.01
Мп	5	7	7.0	8.2	9.0	9.7	0.02	0.04	0.07	0.16	<0.01	<0.01
Бд	5	2	22.9	51.0	16.7	19.2	0.38	0.47	2.78	5.22	0.01	0.02
Ос	10	2	18.9	22.2	15.7	16.6	0.27	0.09	1.87	0.65	0.01	<0.01
Итого	741	617	21.3	24.6	—	—	26.2	28.7	203.4	225.0	1.19	1.18

Примечание. Породы: Лп — липа амурская, липа маньчжурская, Д — дуб монгольский, Км — клен мелколистный (*Acer mono*), Ясм — ясень маньчжурский, Ясн — ясень носолистный, Ор — орех маньчжурский, Иг — ильм лопастной (*Ulmus laciniata*), Ид — ильм японский (*U. japonica*), Ма — маакия амурская (*Maackia amurensis*), Гр — граб сердцелистный, Дмр — калопанакс семилопастной, Клжб — клен ложнозибольдов, Тр — трескун (*Ligustrina amurensis*), Мп — мелкоплодник ольхолистный (*Micromeles alnifolia*), Бд — береза даурская (*Betula dahurica*), Ос — осина.

лилась неравномерность распределения кустарников по площади. Различия между показателями сомкнутости стали более разительными — от 0.1 (на сырых участках в основаниях террасовидных уступов и под деревьями с высокой сомкнутостью крон или с кронами, перевитыми лианами) до 1.0 (места вывала деревьев). Разреженность подлеска присуща также участкам с выпуклой поверхностью и потому более сухих. В таких экотопах, кроме разрозненных группировок чубушника и лещины, одиночными побегами высотой менее 1 м растут барбарис амурский (*Berberis amurensis*), калина Саржента (*Viburnum sargentii*) и смородина маньчжурская (*Ribes mandshuricum*).

В травяном ярусе выявлено 79 видов в 1998 г. и 74 — в 2018 г.; выпали светолюбивые и заносные виды. Доминируют лесной мак весенний (*Hylomecon vernalis*) разнотравье, папоротники, хвощ зимующий (*Equisetum hiemale*), и осоки (осока кривоноса (*Carex campylorhina*), о. возвратившаяся (*C. cf. reventa*) и о. ржавопятнистая (*C. siderosticta*)). Преобладающими были и остались микрогруппировки разнотравного и — весной — эфемероидного комплексов, в совокупности занимающих почти 70% площади фитоценоза (Москалюк, 2021).

Усиление эдификаторных функций подлеска и молодого поколения лиственных пород проявилось в повышении мозаичности травяного яруса — в горизонтальной структуре яруса число микрогруппировок за 20 лет увеличилось с 52 до 67.

Главной особенностью насаждения является наличие взрослых лиан актинидии острой, поднимающихся в кроны деревьев первого яруса, и коротких, как правило, стелющихся, лиан лимонника (*Schizandra chinensis*) и винограда (*Vitis amurensis*).

В коренных хвойно-широколиственных лесах с выработанной структурой в общей сложности насчитывается не более 4–5 парцелл (Максимова, 1987). Парцеллярная структура “лианового” фитоценоза окончательно еще не сформирована. В 1998 г. в нем выделены 12 парцелл (рис. 2а), из которых к 2018 г. прежними остались шесть. Вместо остальных шести появились четыре новых парцеллы (рис. 2б). Контуры парцелл стали более плавными, а распределение площади по парцеллам — более равномерным. Основными — преобладающими по площади (Дылис, 1969) в 1998 г. были пять парцелл с размерами от 9.0 до 27.8% от площади фитоценоза, а в 2018 г. их стало уже семь

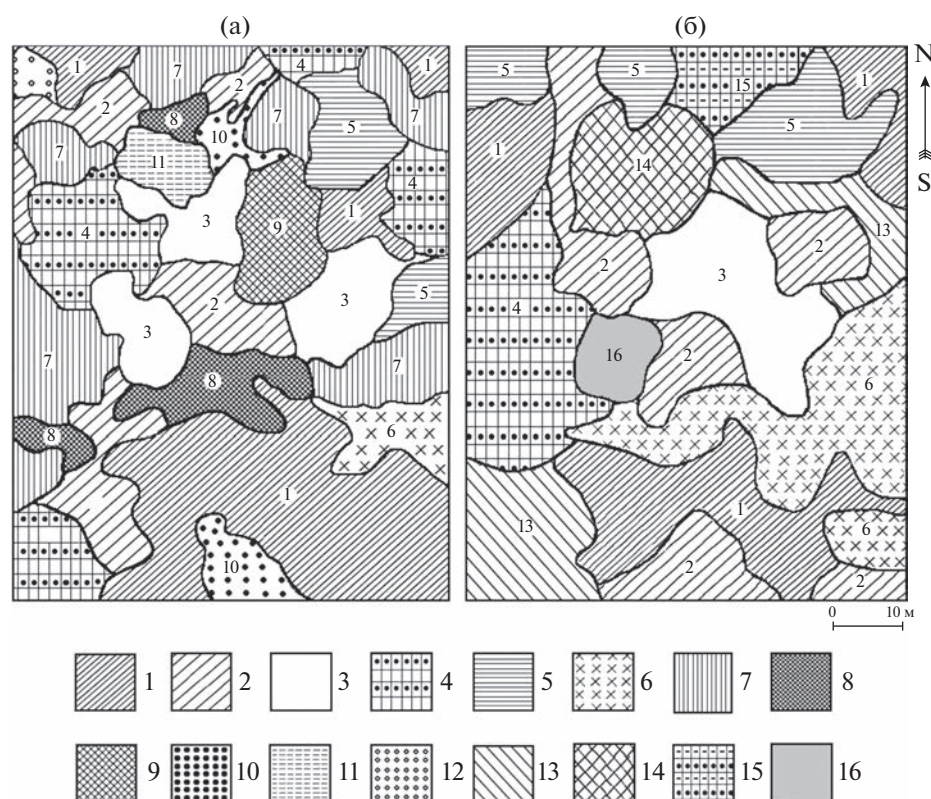


Рис. 2. Парцеллярная структура широколиственно-липового с лианами лещинового разнотравного фитоценоза. Парцеллы “общие” для 1998 г. и 2018 г.: 1 – дубово-липовая лесно-маковая (27.8% от площади фитоценоза), 2 – дубово-липовая с кленом мелколистным трескуново-лещиновая редкопокровная (12.5%), 3 – широколиственная актинидиевая с трескуном и лещиной редкопокровная (12.1%), 4 – липово-дубовая с кленом мелколистным разнотравная с осоклой редкопокровная (9.0%), 5 – липовая с кленом ложнозильбовым разнотравно-осоковая (5.4%), 6 – ясенево-широколиственная хвощовая разреженная (2.5%). Парцеллы, исчезнувшие к 2018 г.: 7 – дубово-липовая с кленом мелколистным разнотравная с осоклой (16.1%), 8 – кленово-мелколистно-липовая разнотравно-звездчатковая (5.5%), 9 – широколиственная актинидиевая лесно-маковая (4.1%), 10 – липово-дубовая василистниковая с разнотравьем (2.4%), 11 – маакиево-диморфантовая волжанковая (2.0%), 12 – берёзово-липовая бересклетовая разнотравная с осоклой и василистником (0.6%). Парцеллы, появившиеся к 2018 г.: 13 – липовая-кленово-мелколистная чубушниковая редкопокровная (11.9%), 14 – маакиево-диморфантовая лещиновая редкопокровная (6.7%), 15 – широколиственная актинидиевая калиновая редкопокровная (3.0%), 16 – дубовая с лещиной редкопокровная (1.6%).

с размерами от 9.3 до 18.7%. Общая площадь этих парцелл различается несильно: 77.5% – в 1998 г. и 79.5 – в 2018 г. Самая большая из дополнительных парцелл в 1998 г. занимала 5.5%, в 2018 г. – 6.7%.

На первом месте по занимаемой площади в сообществе была и осталась условно-коренная **дубово-липовая лесно-маковая (1, “лесно-маковая”)**⁴ парцелла. Площадь лесно-маковой парцеллы к 2018 г. сократилась в 1.5 раза, но по-прежнему осталась самой большой (рис. 3). В ее древостое преобладают липа и дуб (формула состава 5Лп3Д1Яс1Ор + И, Тр). Небольшой уклон (5°–7°) – меньший, чем на смежных участках, способствует хорошему освещению поверхности не только вес-

ной, но и летом. Лесной мак до июня формирует густой покров с проективным покрытием 90–100%. Кроме него в этой парцелле обычна ветреница дальневосточная (*Anemonoides extremiorientalis*). К середине лета лесной мак полностью исчезает и фоновобразующей становится *разнотравная редкопокровная* микрогруппировка с проективным покрытием 20–25%.

На самом большом участке парцеллы в нижней части пробной площади выпали одновременно несколько деревьев липы. В окна “вклинились” фрагменты двух парцелл: смежной *дубово-липовой с кленом мелколистным трескуново-лещиновой редкопокровной* и новой *липово-кленово-мелколистной с чубушником редкопокровной*.

Дубово-липовая с кленом трескуново-лещиновая редкопокровная (2, “трескуново-лещиновая редкопокровная”) парцелла (рис. 4) – одна из основных, условно-коренная, занимала и занимает

⁴ Вначале описаны парцеллы, общие для 1998 и 2018 гг., затем – отдельно для 1998 г. и 2018 г. В скобках приведены номер и короткое название парцеллы.

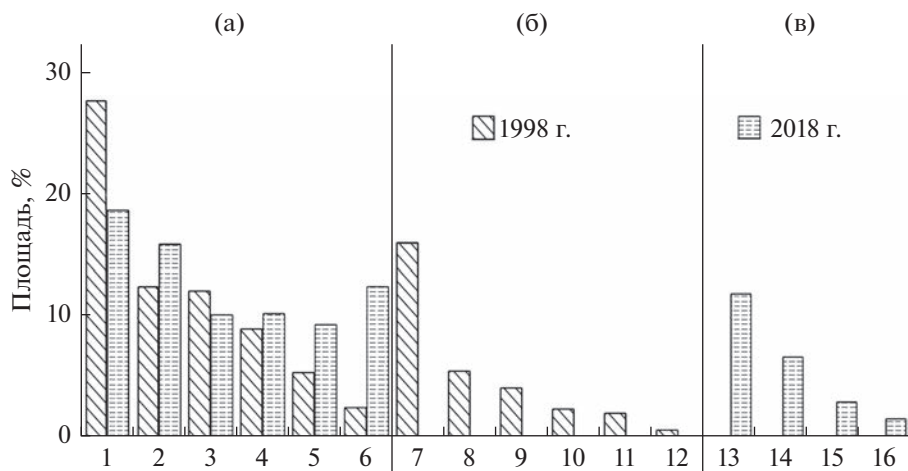


Рис. 3. Распределение площади фитоценоза по парцеллам в 1998 г. (а и б) и 2018 г. (а и в). Названия и номера парцелл указаны в легенде к рис. 2.



Рис. 4. Фрагмент “трескуново-лещиновой редкопокровной” парцеллы.

несколько участков с уклоном 5° – 7° и более. Формула состава древостоя — 5Лп3Д1Км1Яс + + Ос, Гр, ед. Ма). Эта парцелла выделялась особенно густым ярусом лещины и немногочисленными куртинами клена бородчатого (*Acer barbinerve*). За 20 лет в ней сильно разросся трескун. Высота кустарников достигает 4 м. Выступая создателем древостоя, подлесок сильно затеняет поверхность и сдерживает разрастание трав. В фонообразующую *разнотравную редкопокровную* микрогруппировку (проективное покрытие до 20%) вкраплены мелкие синузиды разнотравья и одиночные особи крупнотравья. На некоторых микросайтах трескун принимает стелющуюся форму, заменяя травяной ярус. К 2018 г. площадь парцеллы увеличилась в 1,2 раза.

Широколиственная актинидиевая с трескуном и лещиной редкопокровная (3, “актинидиевая”) парцелла относится к наиболее характерным в фитоценозе. В 1998 г. она занимала три участка в центральной части пробной площади, которые примыкали к впадине, расположенной поперек склона. Формула состава древостоя 4Д3Лп2Яс1Ор, ед. Гр, Км, Тр, Ма. Многие деревья оплетены лианами актинидии. Толщина некоторых лиан у основания достигает 10–12 см. У крупных лиан образуется множество дочерних. Малочисленные деревца подроста деревьев и кустарники в 1998 г. были сильно угнетены. Летом в парцелле всегда сумрачно и сыро. Фон создают *разнотравная редкопокровная* микрогруппировка и лиственный опад. Весной аспектирует лесной мак, сквозь опад про-

бываются эфемероиды (адокса мускусная (*Adoxa moschatellina*), лук одноцветковый (*Allium monanthum*), лютик Франше (*Ranunculus franchetii*) и др.).

Между двумя участками парцеллы за счет бокового освещения со стороны большой прогалины, образовавшейся в результате вывала перестойной липы, проективное покрытие трав увеличилось до 60%. В этом месте в 1998 г. была выделена производная **широколиственная актинидиевая лесно-маковая (9)** парцелла с очень густыми микрогруппировками лесного мака. После зарастания прогалины лещиной парцелла снова стала **широколиственной актинидиевой с трескуном и лещиной редкопокровной**.

После очередного вывала нескольких деревьев в соседних парцеллах освещение в “актинидиевой редкопокровной” парцелле улучшилось, и на двух ее участках сформировались группировки из лещины и трескуна. После этого к названию парцеллы было добавлено сочетание слов “с трескуном и лещиной”. На третьем участке разрослась калина буреинская (*Viburnum burejanum*), образовав куртину из 22 кустов высотой от 0,8 до 1,6 м. Это стало основанием для выделения в 2018 г. одной из самых маленьких парцелл (см. рис. 2б и 3) — производной **широколиственной актинидиевой калиновой редкопокровной** парцеллы (16).

Липово-дубовая с кленом мелколистным разнотравная с осокой редкопокровная (4, “разнотравная с осокой редкопокровная”) парцелла — условно-коренная и последняя из пяти основных в 1998 г. Формула состава древостоя 4Лп3Д1Км1И1Ос + Гр, ед. Тр. В 1998 г. она располагалась в разных местах пробной площади. Для нее характерна слегка выпуклая поверхность с направлением уклона не только вниз, но и к востоку, и потому более сухая по сравнению с остальной территорией фитоценоза. Присущие парцелле разреженность подлеска и редкопокровность травяного яруса обусловлены, по-видимому, не только высокой сомкнутостью крон, но и конкуренцией за влагу и питательные элементы в почве. В подлеске парцеллы, кроме обычных видов, единичны особи смородины и барбариса.

За 20 лет осина полностью выпала. От четырех фрагментов парцеллы остался один (см. рис. 2), но площадь парцеллы не только не уменьшилась, а увеличилась — за счет присоединившегося к ней фрагмента производной “разнотравной с осокой” парцеллы. В редком травяном ярусе вместе с разнотравьем росли и растут мезофитные осоки и василистник нитчатый (*Thalictrum filamentosum*).

Липовая с кленом ложнозибольдовая разнотравно-осоковая (5, “кленово-ложнозибольдовая”) парцелла — еще одна из условно-коренных. Она из числа немногих парцелл, в формировании которых четко прослеживается связь с эдафическими условиями, главным образом, с влажностью почв.

На пробной площади самый большой участок парцеллы представлен блюдцеобразным микропонижением, ограниченным с восточной и южной сторон пологими откосами террасовидного уступа. Высота откосов — 1,2–1,5 м, крутизна — до 20°. В западном направлении и вниз микропонижение плавно переходит в основную поверхность склона. В связи с перераспределением склонового стока в сторону уклона откосов влажность почв в парцелле гораздо выше, чем на смежной территории.

Древостой парцеллы разрежен и представлен малым числом видов — формула состава 8Лп1Д1Кл. В нем растет и плодоносит самое крупное на пробной площади дерево клена ложнозибольдова. Ажурные кроны кленов и высоких лип пропускают достаточно света, и на большей части парцеллы сформировался густой травяной ярус (проективное покрытие до 100%). Подлесок редкий, представлен небольшими кустами жимолости ранней (*Lonicera praeflorens*), чубушника и кустовидного клена ложнозибольдова.

Высокую влажность почв индицирует осока кривоногая — доминант травяного яруса парцеллы (рис. 5). Обычны мезофитные осоки — подобные осоке возвратившейся и ржавопятнистой. Фонообразующие микрогруппировки **разнотравно-осоковая** и **осоковая с разнотравьем разреженная**.

За 20 лет облик парцеллы почти не изменился, за исключением снижения обилия василистника, который в 1998 г. был содоминантом осок. В то же время площадь парцеллы увеличилась в 1,7 раза (см. рис. 3). В нее вошли два фрагмента производной “разнотравно-осоковой” парцеллы — из-за разрастания осоки кривоногой и вся “бересклетовая”.

К особо значимым трансформациям парцеллярной структуры “лианового” фитоценоза относится образование условно-коренной **ясенево-широколиственной хвощовой разреженной (6, “хвощовой”)** парцеллы. Состав ее древостоя 4Яс3Лп1Д1Км ед., Ма, Тр.

В 1998 г. в одном месте — по тальвегу самой большой впадины, была выделена одна густопокровная (*обилие сор³-soc*) и несколько редкопокровных микрогруппировок с доминированием хвоща зимующего (*Equisetum hiemale*). Вместе они занимали всего 2,5% площади фитоценоза, но к 2018 г., после вывала нескольких деревьев ясеня и липы, площадь их увеличилась в 5 раз. Потеснив “разнотравную с осокой” и “лесно-маковую” парцеллы, хвощовая заняла всю впадину и вошла в число основных парцелл.

В настоящее время идет экспансия хвоща в смежные парцеллы, указывая на повышение влажности почв. В периоды таяния снега и тайфунов в некоторых местах впадины из откоса терра-



Рис. 5. В травяном ярусе “разнотравно-осоковой” парцеллы доминирует влаголюбивая осока кривоносая.



(а)



(б)

Рис. 6. “Хвощовая” парцелла летом (6а) и осенью (6б) 2018 г.

совидного уступа на дневную поверхность выходят струйки воды.

Фон в парцелле создают микрогруппировки с максимальным обилием хвоща *cop*²⁻³ (рис. 6). В этой парцелле выделена единственная на пробной площади *мелкотравная майничная с разнотравьем разреженная* микрогруппировка с обилием майника (*Maianthemum bifolium*) *cop*¹ (по шкале Друде). Майник и хвощ — виды-спутники коренных лесов, встречаются во многих микрогруппировках, всегда рассеянно — обилие каждого до *sol*.

Дубово-липовая с кленом мелколистным разнотравная с осокой (7, “разнотравная с осокой”) парцелла — производная; в 1998 г. — вторая по величине в фитоценозе. В прошлом ее местообитания на склоне были пройдены сильным пожаром. По составу древостоя она одна из самых сложных

(4Лп4Д1Яс1Км, + Ос, ед. И, Ор, Гр, Дмр) с перестойными деревьями и корнеотпрысками осины. Разреженный травяной ярус (проективное покрытие — 40%) отличался высокой мозаичностью (17 микрогруппировок). Фонообразующие микрогруппировки: *осоковая с василистником и разнотравьем разреженная* и *разнотравная редкопокровная*.

К 2018 г., после выпадения осины и осветления экотопа, парцелла исчезла. Площадь ее распределялась между смежными парцеллами (см. рис. 2). Самый большой фрагмент отошел к условно-коренной “разнотравной с осокой редкопокровной” парцелле. В его подлеске наряду с лещиной и чубушником стал обычным элеутерококк и появились одиночные особи-побеги барбариса и калины Саржента; число микрогруппировок в травяном ярусе сократилось до 9.



Рис. 7. Парцеллы маакиево-диморфантовая волжанковая (7а) и сменившая её маакиево-диморфантовая лещиновая редкопокровная (7б).

К микросайтам со свежими нарушениями были приурочены две производные парцеллы, исчезнувшие к 2018 г.: **кленово-мелколистно-липовая разнотравно-звездчатковая** (8, “звездчатковая”) и **маакиево-диморфантовая волжанковая** (11, “волжанковая”). “Звездчатковая” парцелла занимала несколько участков: один — на небольшом участке свежей гари, “зацепившей” край пробной площади, остальные — в местах вывала деревьев. Она хорошо выделялась микрогруппировками звездчатки (*Stellaria bungeana*): чистыми или в смеси с разнотравьем. В 2018 г. парцеллы уже не было, но звездчатка встречалась в других микрогруппировках.

“Волжанковая” парцелла (рис. 7а) сильно отличалась от окружающих парцелл. Она сформировалась на месте вывалившейся очень старой большой липы. Вероятно, до вывала липы “волжанковая” парцелла была фрагментом соседней “актинидиевой редкопокровной” парцеллы. Состав древостоя как прост, так и необычен: 7Дмр2Ма1Тр. В парцелле росли стройная высокая маакия и огромный высоковозрастный диморфант в окружении нескольких тонкомерных деревьев трескуна. Кроны упавшей липы и диморфанта были густо переплетены лианами актинидии. В 1998 г. сухие сучья липы возвышались большой кучей хвороста, от которой к диморфанту шли туго натянутые отмершие лианы.

В редком подлеске отмечены чубушник, лещина, жимолость и элеутерококк. Кустарники и подрост были сильно угнетены, всходы и самосев отсутствовали. Волжанка двудомная (*Aruncus dioicus*) явно препятствовала внедрению других видов в парцеллу. Фонообразующая микрогруппировка — чистая *волжанковая* с проективным покрытием 100%. Лишь в ее периферийной части росли василистник и звездчатка с разнотравьем.

По мере смыкания кроны деревьев, окружающих прогалину, заросли волжанки стали вытесняться лещиной. Спустя 20 лет “волжанковую” парцеллу сменила **маакиево-диморфантовая лещиновая редкопокровная** (14), дополнительно захватившая участки соседних “звездчатковой”, “василистниковой” и частично “актинидиевой” парцелл (рис. 7б). Под высокосомкнутым пологом лещины дополнительно затеняют поверхность слабо развитые особи элеутерококка. Волжанковую микрогруппировку заменила *разнотравная редкопокровная* с вкраплениями фрагментов прежних микрогруппировок. От кучи “хвороста” и огромного валежного ствола не осталось и следа.

Липово-дубовая василистниковая с разнотравьем (10, “василистниковая”) парцелла в 1998 г. была одной из немногочисленных парцелл с густым травяным ярусом. В прошлом она, как и “разнотравная с осокой” парцелла, значительно пострадала от пожара, о чем свидетельствует при-

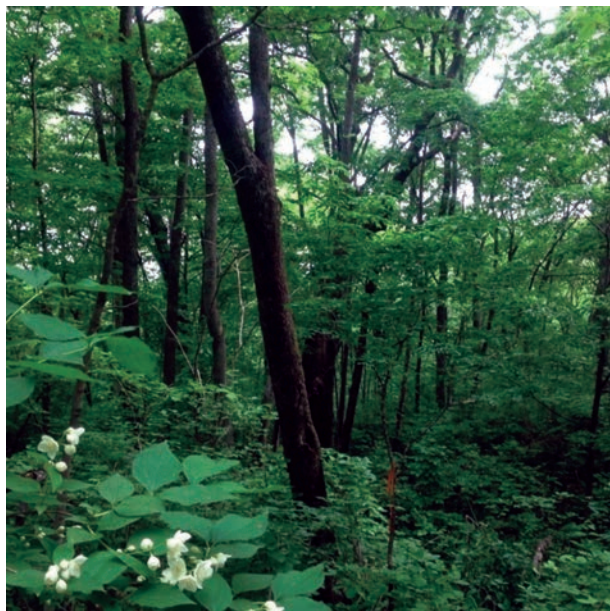


Рис. 8. “Чубушниковая редкопокровная” парцелла сформировалась на участке с выпавшими деревьями.

сутствие в составе древостоя осины (формула состава 6ДЗЛп1Ос + Км, ед. Ма). На участках под василистниковыми микрогруппировками зафиксировано значительное количество остатков разложившейся древесины, что позволяет предположить тяготение василистника к повышенному содержанию органики в почве. Высокое обилие василистника отмечалось и на участке с хорошим боковым освещением — близ прогалины с волжанкой. Василистник нитчатый — характерный вид хвойно-широколиственных лесов. В “лиановом” фитоценозе он и через 20 лет присутствовал во многих микрогруппировках, но с повышением сомкнутости подлеска обилие василистника повсеместно снизилось. “Василистниковая” парцелла объединилась с одной из условно-коренных парцелл или с производной дубовой с лещиной редкопокровной (14). Самый большой фрагмент василистниковой парцеллы (см. рис. 2) “поглотила” условно-коренная “трескуново-лещиновая редкопокровная” парцелла. В производной парцелле почти всю площадь под кронами лещины занимает василистниковая редкопокровная микрогруппировка.

Самой маленькой в фитоценозе в 1998 г. была березово-липовая бересклетовая разнотравная с осокой и василистником (12, “бересклетовая”) парцелла. Она располагалась в локальном микропонижении, аналогичном описанному в “кленово-ложнозибольдовой” парцелле. Формула состава древостоя в 5Лп5Бд, ед. Тр. На бровке откоса микропонижения росло и продолжает расти единственное в парцелле перестойное дерево березы (*Betula davurica*). Бересклет Максимовича

(*Euonymus maximovicziana*) в этой парцелле формировал группы по два-три тонкомерных дерева высотой до 6 м. К 2018 г. из пяти лип выпали три, в кроне березы усохло много скелетных ветвей; полностью усохли бересклет и трескун. В травяном ярусе резко снизилось обилие разнотравья и василистника, господство перешло к осоке кривоносовой. Бересклетовая парцелла стала одним из фрагментов “кленово-ложнозибольдовой” парцеллы.

Липово-кленово-мелколиственная чубушниковая редкопокровная парцелла (13) — последняя из семи условно-коренных парцелл, выделена в 2018 г. Главная порода ее древостоя — клен мелколистный. От парцелл с густым лещиновым подлеском эта парцелла отличается меньшей влажностью местообитаний, что способствовало после улучшения освещенности разрастанию в ней чубушника (рис. 8), образующего как чистые группировки, так и в смеси с элеутерококком. Сомкнутость подлеска 0.8–0.9, высота кустов достигает 3.0 м. Фонообразующая микрогруппировка — *разнотравная редкопокровная*.

ВЫВОДЫ

1. Широколиственно-липовый с лианами лещиновй разнотравный тип леса представляет производную формацию смешанных широколиственных лесов, восстановившихся на месте коренных кедрово- и чернопихтово-широколиственных лесов в южной части Приморского края. Он сформировался в оптимальных лесорастительных условиях и обладает сложным флористическим составом, включающим 22 вида деревьев, 11 — кустарников, 3 — лиан и более 80 видов трав.

2. Анализ результатов исследований показал, что широколиственно-липовый тип леса — устойчиво-производный вступил в завершающую стадию восстановительной сукцессии. В составе древостоя с 1997 г. по 2018 г. снизилось участие главных пород (липа и ясень), почти полностью выпала осина, укрепились позиции видов, характерных для хвойно-широколиственных лесов (граб сердцелистный, дуб монгольский, орех маньчжурский и др.), произошло усиление эдификаторных функций подлеска (лещина, чубушник, калина буреинская). Лесоводственно-таксационные показатели древостоя при этом изменились мало.

3. Трансформация роли древесно-кустарниковых ярусов, произошедшая к 2018 г., обусловила серьезную перестройку парцеллярной структуры “лианового” фитоценоза, указывая на продвинутость лесообразовательного процесса:

а — за период исследований было выявлено 16 парцелл; в 1998 г. — 12 (6 условно-коренных и 6 производных), в 2018 г. — 10 (7 и 3 соответственно), общими остались 6 парцелл, все они

условно-коренные, в 2018 г. к ним добавилась еще одна;

б — произошло закономерное укрупнение парцелл и выравнивание их границ;

в — число основных — преобладающих по площади — парцелл возросло с 5 до 7, площадь увеличилась с 77.5 до 88.8% от площади фитоценоза;

г — все условно-коренные парцеллы в 2018 г. стали основными, занимая от 9.3 до 18.7% площади фитоценоза;

г — наиболее значимыми трансформациями в парцеллярной структуре следует считать исчезновение самой большой производной парцеллы — “разнотравной с осокой” (“растворилась” в смежных парцеллах), сильное увеличение площади типичной для хвойно-широколиственных лесов “хвощовой” парцеллы и смену “волжанковой” парцеллы “лещиновой редкопокровной”.

4. Формирование парцеллярной структуры лесных сообществ на северных склонах в Южном Приморье определяется в первую очередь экотопическими условиями (микрорельеф поверхности и влажность почв), во вторую — цено-тическими факторами (ограничение эдификаторами сообщества доступа света к поверхности). Связь между видовым составом древесно-кустарниковых ярусов и размещением парцелл отсутствует.

5. Травяной ярус — самый динамичный компонент фитоценоза является надежным индикатором трансформации внутрицено-тических условий. В ответ на повышение сомкнутости древесно-кустарниковых ярусов площадь парцелл с густопокровными микрогруппировками (проективное покрытие >60%) за 20 лет уменьшилась в 5 раз; сократилось число парцелл с светолюбивыми видами (волжанка двудомная, осока возвратившаяся, диспорум зеленеющий (*Disporum viridescens*), лесной мак весенний, звездчатка Бунге и др.) и увеличилось — с теневыносливыми и влаголюбивыми (хвощ зимующий, адиантум стоповидный (*Adiantum pedatum*), осока кривоногая, стелбеллист мощный (*Caulophyllum robustum*) и др.).

6. От ранее произраставшего коренного чернопихтово-широколиственного типа леса широколиственно-липовый отличается только отсутствием пихты цельнолистной и кедра корейского, что объясняется воздействием периодических низовых пожаров и удаленностью источников обсеменения. Для окончательного восстановления коренного типа леса необходимы профилактика пожаров и меры по содействию естественному возобновлению, которые следует планировать с учетом парцеллярной структуры фитоценоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев Н.Г., Колесников Б.П. Чернопихтово-широколиственные леса Южного Приморья. М.—Л.: АН СССР, 1962. 147 с.
- Возмищева А.С., Перепёлкина П.А. Влияние синузид травяно-кустарникового яруса на параметры подроста в северных и южных широколиственно-кедровых лесах // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. [https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23338]
- Дуденко Г.А. Эколого-ценотическая структура вторичных лесов южного Приморья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.03.02. Уссурийск: ФГБОУ ВПО “ПГСХА”, 2012. 23 с.
- Дылис Н.В. Структура лесного биогеоценоза. М.: Наука, 1969. 55 с.
- Дылис Н.В. Структурно-функциональная организация биогеоценотических систем и ее изучение // Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. С. 14—23.
- Иванов А.В., Иванова Е.В., Гамаева С.В. Изменение разнообразия хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья в связи с рубками и пожарами // Экология. 2022. № 2. С. 1—8
- Иванова И.Т., Ярошенко П.Д., Берстюкова К.П. Микрофитоценозы некоторых сообществ хвойно-широколиственных лесов Приморья // Комаровские чтения. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1963. Вып. XI. С. 58—85.
- Исаев А.С., Носова Л.М., Пузаченко Ю.Г. Биологическое разнообразие лесов России — предложения к программе действий // Лесоведение. 1997. № 2. С. 3—13.
- Ковалев А.П., Алексеенко А.Ю., Лашина Е.В., Качанова Т.Г. О необходимости смены приоритетов при рубках в производных кедрово-широколиственных лесах Дальнего Востока // Сибирский лесной журн. 2020. № 2. С. 3—13.
- Колесников Б.П. Растительность // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 206—250.
- Комарова Т.А. Изменение синузидальной структуры кустарничково-травяного яруса в ходе послепожарных сукцессий // Ботанический журн. 1993. Т. 78. № 6. С. 86—95.
- Комарова Т.А. О горизонтальной неоднородности пихтово-еловых мелкотравно-папоротниковых лесов северного Сихотэ-Алиня // Экология. 1978. № 1. С. 42—49.
- Корякин В.Н., Челышев В.А. Современная характеристика лесов // Современное состояние лесов Российского Дальнего Востока и перспективы их использования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. С. 15—34.
- Крупяно Н.А. Синузидальная структура травяного яруса кедровников Уссурийского заповедника // Ботанический журн. 1983. Т. 68. № 10. С. 1385—1392.
- Кудинов А.И. Дубово-кедровые леса Южного Приморья и их динамика. Уссурийск: ПГСХА, 2000. 182 с.
- Лукина Н.В., Гераськина А.П., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Куприн А.В., Чернов Т.И., Чумаченко С.И., Шанин В.Н.,

- Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Горнова М.В. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // Вопросы лесной науки. Т. 3. № 4. 2020. С. 1–90.
- Максимова В.Ф. Элементы мозаики травяного яруса в кедрово-широколиственных лесах Среднего Сихотэ-Алиня // Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока (биогеоценотический аспект). Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 79–85.
- Москалюк Т.А. Трансформация травяного яруса за 20 лет восстановительной сукцессии в широколиственных лесах с лиановой растительностью на юге Приморского края // Комаровские чтения, 2021. Вып. LXIX. С. 26–78.
- Москалюк Т.А. Ценотическая структура и мониторинг лесов Дальнего Востока // Растения в муссонном климате: Материалы IV Междунар. конф. Владивосток, 2006. С. 78–82.
- Москалюк Т.А., Тарасова И.С. Структура травяного яруса в широколиственных лесах Южного Приморья в летний период // Животный и растительный мир Дальнего Востока. Владивосток: ДВФУ, 2015. Вып. 24. С. 37–54.
- Назимова Д.И., Коновалова М.Е., Данилина Д.М., Пономарев Е.И., Сташкевич Н.Ю., Бабой С.Д. Исследования долговременной динамики лесов в пергумидном климате Западного Саяна (Ермаковский стационар Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН) // Сибирский лесной журн. 2015. № 4. С. 3–17.
- ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: Государственный комитет СССР по лесному хозяйству, 1983. 60 с.
- Петропавловский Б.С. Леса Приморского края: (Эколого-географический анализ). Владивосток: Дальнаука, 2004. 317 с.
- Распределение площади лесов и запасов древесины по преобладающим породам и группам возраста на 01.01.2021. Форма № 2-ГЛР // Информация о порядке предоставления сведений из гос. лесного реестра Приморского края [https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/folder2/]
- Рубцов М.В., Рыбакова Н.А. Динамика парцеллярной структуры лесных фитоценозов в процессе восстановления популяции ели в южнотаежных березняках // Лесоведение. 2016. № 5. С. 323–331.
- Сибирина Л.А. Риск потери местообитаний кедрово-широколиственных лесов при нерациональном лесопользовании // Природа без границ: Мат. VIII Междунар. эколог. форума (23–24 октября 2014 г., Владивосток). Владивосток: ДВФУ, 2014. С. 404–406.
- Сосудистые растения советского Дальнего Востока: в 8 т. / Под ред. С.С. Харкевича. СПб. (Л.): Наука, 1985–2006. Т. 1–8.
- Справочник для таксации лесов Дальнего Востока / Отв. сост. В. Н. Корякин. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. 526 с.
- Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации. М.: Министрство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2014. 256 с. [https://www.cbd.int/doc/world/ru/nbsap-v2-ru].
- Сукачев В.Н., Зонн С.В. Общие принципы и программа изучения типов леса // Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. С. 1–104.
- Тебенькова Д.Н., Лукина Н.В., Чумаченко С.И., Данилова М.А., Кузнецова А.И., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Катаев А.Д., Гагарин Ю.Н. Мультифункциональность и биоразнообразие лесных экосистем // Лесоведение. 2019. № 5. С. 341–356.
- Усольцев В.А. Биоразнообразие в экосистемах: краткий обзор проблемы // Эко-Потенциал. 2019. № 1(25). Биология. С. 9–47.
- Уткин А.И. Методика исследований первичной продуктивности лесов // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. М.: Наука, 1982. С. 59–71.
- Caspersen J.P., Pacala S.W. Successional diversity and forest ecosystem function // Ecological Research. 2001. V. 16. № 5. P. 895–903.
- Elliot T., Goldstein B., Gómez-Baggethun E., Proença V., Rugani B. Ecosystem service deficits of European cities // Science of The Total Environment. 2022. V. 837: 155875 [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722029722].
- Gao T., Hedblom M., Emilsson T., Nielsen A.B. The role of forest stand structure as biodiversity indicator // Forest Ecology and Management. 2014. V. 330. P. 82–93.
- Hector A., Bagchi R. Biodiversity and ecosystem multifunctionality // Nature. 2007. V. 448. № 7150. P. 188–190.
- Keenan R., Reams G., Achard F., De Freitas J., Grainger A., Lindquist E. Dynamics of global forest area: results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015 // Forest Ecology and Management. Science to Sustain the World's Forests, 2015. V. 352. p. 9–20.
- Mestre L., Toro-Manríquez M., Soler R., Huertas-Herrera A., Martínez-Pastur G., Lencinas M.V. The influence of canopy-layer composition on understory plant diversity in southern temperate forests // Forest Ecosystems. 2017. № 4. Iss. 6. 13 p. [https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-017-0093-z]
- Spicer M.E., Mellor H., Carson W.P. Seeing beyond the trees: a comparison of tropical and temperate plant growth forms and their vertical distribution // Ecology. 2020. V. 101. № 4. P. 1–9.
- UNSPF: United Nations strategic plan for forests 2017–2030 and quadrennial programme of work of the United Nations Forum on Forests for the period 2017–2020: Resolution adopted by the Economic and Social Council on 20 April 2017. 24 p. Distrib. General 07.2017. [https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/strategic_plan_2017_2030.pdf]

Changes in a Parcel Structure of Liana-Broadleaved Forests in Primorsky Region Over 20 Years

T. A. Moskalyuk*

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the RAS,
Avenue of 100-th Anniversary, Vladivostok, 690022 Russian*

**E-mail: tat.moskaluk@mail.ru*

The study of the parcel structure dynamics of the Primorsky region's forests is necessary to identify the natural restoration patterns of a formation unique to the region - primary coniferous-broad-leaved forests. As a result of economic activity, these forests, saturated with relic elements, were replaced by secondary ones in most of the affected area. The studies were carried out in the catchment area of the Komarovka river (Southern Primorye, Ussuri region). The article presents the results of the parcel structure study in the broad-leaved-linden hazel with liana vegetation of the herb forest type, which is representative for the region and is also the most complex as far the derivative forests formation is concerned. The classical research method was used: a detailed description and mapping on a scale of 1 : 100 of all phytocoenosis levels was performed on a permanent trial plot (PTP), followed by a pairwise maps comparison and the parcels allocation. An analysis of the phytocoenosis transformation over 20 years of restorative succession has shown that the main silvicultural and inventory characteristics of the stand have changed insignificantly. In the forest stand's composition, an almost complete dropping out of aspen and linden has occurred, the latter being one of the main species of the local ecosystems. At the same time, the positions of the underbrush and the tree species, characteristic of primary coniferous-deciduous forests, have both strengthened. Changes in the parcel structure indicate the successful restoration of the primary forest type: two secondary complementary (small) parcels disappeared in the phytocoenosis, one more has joined the six conditionally-indigenous ones; there also was a natural enlargement of conditionally indigenous parcels and the alignment of their boundaries. The high indicator role of the grass layer was properly reflected in the study.

Keywords: *parcel structure, forest-forming process, derived broad-leaved forests, native coniferous-broad-leaved forests, restorative succession, Primorsky Region.*

Acknowledgements: Financing was provided from the budget fund for the fulfillment of the state task by the theme "Study and monitoring of terrestrial biological resources in the south of the Russian Far East" (scientific theme 0207-2021-0003), № 121031000120-9.

REFERENCES

- Caspersen J.P., Pacala S.W., Successional diversity and forest ecosystem function, *Ecological Research*, 2001, Vol. 16, No. 5, pp. 895–903.
- Dudenko G.A., *Ekologo-tsenoticheskaya struktura vtorichnykh lesov yuzhnogo Primor'ya: avtoref. diss. kand. biol. nauk* (Ecological and coenotic structure of secondary forests in southern Primorye. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Ussuriisk: FGBOU VPO "PGSKhA", 2012, 23 p.
- Dylis N.V., *Struktura lesnogo biogeotsenoza* (Structure of the forest biogeocoenosis), Moscow: Nauka, 1969, 55 p.
- Dylis N.V., Strukturno-funktsional'naya organizatsiya biogeotsenoticheskikh sistem i ee izucheniye (Structural and functional organization of biogeocenotic systems and its study), In: *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* (Program and methodology of biogeocenological research), Moscow: Nauka, 1974, pp. 14–23.
- Elliot T., Goldstein B., Gómez-Baggethun E., Proença V., Rugani B., Ecosystem service deficits of European cities, *Science of The Total Environment*, 2022, Vol. 837: 155875, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722029722>.
- Gao T., Hedblom M., Emilsson T., Nielsen A.B., The role of forest stand structure as biodiversity indicator, *Forest Ecology and Management*, 2014, Vol. 330, pp. 82–93.
- Hector A., Bagchi R., Biodiversity and ecosystem multifunctionality, *Nature*, 2007, Vol. 448, No. 7150, pp. 188–190.
- Isaev A.S., Nosova L.M., Puzachenko Y.G., *Biologicheskoe raznoobrazie lesov Rossii – predlozheniya k programme deistviy* (Biological Diversity of Russian Forests - the Programme of Action), *Lesovedenie*, 1997, No. 2, pp. 3–13.
- Ivanov A.V., Ivanova E.V., Gamaeva S.V., Changes in the diversity of conifer–broadleaf forests of Southern Primorye resulting from selective logging and fires, *Russian Journal of Ecology*, 2022, Vol. 53, No. 2, pp. 83–90.
- Ivanova I.T., Yaroshenko P.D., Berstyukova K.P., Mikrofitotsenozy nekotorykh soobshchestv khvoino-shirokolistvennykh lesov Primor'ya (Microphytocoenoses of some communities of coniferous-deciduous forests of Primorye), *Komarovskie chteniya*, 1963, Vol. XI, pp. 58–85.
- Keenan R., Reams G., Achard F., De Freitas J., Grainger A., Lindquist E., Dynamics of global forest area: results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015, *Forest Ecology and Management. Science to Sustain the World's Forests*, 2015, Vol. 352, pp. 9–20.
- Kolesnikov B.P., Rastitel'nost' (Vegetation), In: *Yuzhnaya chast' Dal'nego Vostoka* (Southern part of the Far East), Moscow: Nauka, 1969, pp. 206–250.
- Komarova T.A., *Izmeneniye sinuzial'noi struktury kustarnichkovo-travyanogo yarusy v khode poslepozharnykh*

- suktsessii (Change of the synusia structure of the dwarf shrub and grass layer during post-fire successions), *Botanicheskii zhurnal*, 1993, Vol. 78, No. 6, pp. 86–95.
- Komarova T.A., Izmenenie sinuzial'noi struktury kustarnichkov-travyanogo yarusy v khode poslepozharnykh suktsessii (Change of the synusia structure of the dwarf shrub and grass layer during post-fire successions), *Botanicheskii zhurnal*, 1993, Vol. 78, No. 6, pp. 86–95.
- Koryakin V.N., Chelyshev V.A., Sovremennaya kharakteristika lesov (Modern characteristics of forests), In: *Sovremennoe sostoyanie lesov Rossiiskogo Dal'nego Vostoka i perspektivy ikh ispol'zovaniya* (Current state of forests of the Russian Far East and prospects for their use), Khabarovsk: Dal'NIILKh, 2009, pp. 15–34.
- Kovalev A.P., Alekseenko A.Y., Lashina E.V., Kachanova T.G., O neobkhodimosti smeny prioritetov pri rubkakh v proizvodnykh kedrovo-shirokolistvennykh lesakh Dal'nego Vostoka (The need for changing priorities in logging successional Korean pine-broadleaved forests of the Far East), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2020, No. 2, pp. 3–13.
- Krupyanko N.A., Sinuzial'naya struktura travyanogo yarusy kedrovnikov Ussuriiskogo zapovednika (Synusial structure of the herbaceous layer in cedar of the Ussuriysk reserve), *Botanicheskii zhurnal*, 1983, Vol. 68, No. 10, pp. 1385–1392.
- Kudinov A.I., *Dubovo-kedrovye lesa Yuzhnogo Primor'ya i ikh dinamika* (Oak-cedar forests of Southern Primorye and their dynamics), Ussuriysk: PGSKhA, 2000.
- Lukina N.V., Geras'kina A.P., Gornov A.V., Shevchenko N.E., Kuprin A.V., Chernov T.I., Chumachenko S.I., Shanin V.N., Kuznetsova A.I., Teben'kova D.N., Gornova M.V., Bioraznoobrazie i klimatoreguliruyushchie funktsii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniya (Biodiversity and climate regulating functions of forests: current issues and prospects for research), *Voprosy lesnoi nauki*, 2020, Vol. 3, No. 4, pp. 1–90.
- Maksimova V.F., Elementy mozaiki travyanogo yarusy v kedrovo-shirokolistvennykh lesakh Srednego Sikhote-Alinya (Mosaic elements of the grass layer in the cedar-broadleaved forests of the Middle Sikhote-Alin), In: *Kedrovo-shirokolistvennye lesa Dal'nego Vostoka (biogeotsenoticheskii aspekt)* (Cedar-broad-leaved forests of the Far East (biogeocenotic aspect)), Vladivostok: DVO AN SSSR, 1987, pp. 79–85.
- Mestre L., Toro-Manríquez M., Soler R., Huertas-Herrera A., Martínez-Pastur G., Lencinas M.V., The influence of canopy-layer composition on understory plant diversity in southern temperate forests, *Forest Ecosystems*, 2017, No. 4, Issue 6, 13 p., available at: <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-017-0093-z>
- Moskalyuk T.A., Tarasova I.S., Struktura travyanogo yarusy v shirokolistvennykh lesakh Yuzhnogo Primor'ya v letnii period (Structure of the herbal tier in broad-leaved forest of the Southern Maritime Province at year term), *Zhivotnyi i rastitel'nyi mir Dal'nego Vostoka*, 2015, Vladivostok: DVFU, Vol. 24, pp. 37–54.
- Moskalyuk T.A., Transformatsiya travyanogo yarusy za 20 let vosstanovitel'noi suktsessii v shirokolistvennykh lesakh s lianovoi rastitel'nost'yu na yuge Primorskogo kraya (Transformation of the herbaceous layer over 20 years of restoration succession in broadleaved forests with lianas in the south of Primorye territory), *Komarovskie chteniya*, 2021, Vol. LXIX, pp. 26–78.
- Moskalyuk T.A., Tsenoticheskaya struktura i monitoring lesov Dal'nego Vostoka (Coenotic structure and monitoring of the forests of the Far East), *Plants in a monsoon climate*, Proc. of IV International Conf., Vladivostok, 2006, pp. 78–82.
- Nazimova D.I., Konovalova M.E., Danilina D.M., Ponomarev E.I., Stashkevich N.Y., Baboi S.D., Issledovaniya dolgovremennoi dinamiki lesov v pergumidnom klimате Zapadnogo Sayana (Ermakovskii statsionar Instituta lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN) (The study of forest dynamics in the pergumid climate of Western Sayan mountains (Ermakovsky research station of V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch)), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2015, No. 4, pp. 3–17.
- OST 56-69-83, (Industrial standart), Moscow: TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1983, 260 p.
- Petropavlovskii B.S., *Lesy Primorskogo kraya* (Forests of Primorye territory), Vladivostok: Dal'nauka, 2004, 316 p.
- Raspredelenie ploshchadi lesov i zapasov drevesiny po preobladayushchim porodam i gruppam vozrasta na 01.01.2021. Forma № 2-GLR* (Distribution of forest area and timber stocks by predominant species and age groups as of 01/01/2021), *Informatsiya o poryadke predostavleniya svedenii iz gos. lesnogo reestra Primorskogo kraya* (Information on the procedure for providing information from the state forest registry of Primorsky Krai), available at: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/folder2/>.
- Rubtsov M.V., Rybakova N.A., Dinamika partsellyarnoi struktury lesnykh fitotsenozov v protsesse vosstanovleniya populyatsii eli v yuzhnotaehzhnykh bereznyakakh (Dynamics of parcel structure of forest phytocoenoses in regenerating spruce population in boreal birch forests), *Lesovedenie*, 2016, No. 5, pp. 323–331.
- Sibirina L.A., Risk poteri mestoobitanii kedrovo-shirokolistvennykh lesov pri neratsional'nom lesopol'zovanii (Risk of loss habitat of the broadleaved-Korean pine forests by the irrational forest management), *Nature without borders*, Vladivostok, October 23-24, 2014 Vladivostok: DVFU, Proc. of VIII International Ecological forum, 2014, pp. 404–406.
- Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka* (Vascular plants of the Soviet Far East), Saint Petersburg: Nauka, 1985–1996, Vol. 1–8.
- Spicer M.E., Mellor H., Carson W.P., Seeing beyond the trees: a comparison of tropical and temperate plant growth forms and their vertical distribution, *Ecology*, 2020, Vol. 101, No. 4, pp. 1–9.
- Spravochnik dlya taksatsii lesov Dal'nego Vostoka* (Guide to the Far-East forests taxation), Khabarovsk: Dal'NIILKh, 1990, 526 p.
- Strategiya i Plan deistvii po sokhraneniyu biologicheskogo raznoobraziya Rossiiskoi Federatsii*, (Strategy and Action Plan for the Conservation of Biological Diversity of the Russian Federation), Moscow: Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii, 2014, 256 p., available at: <https://www.cbd.int/doc/world/ru/nbsap-v2-ru>
- Sukachev V.N., Zonn S.V., Obshchie printsipy i programma izucheniya tipov lesa (General principles and program of forest types study), In: *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* (Guidelines for the study of forest types), Moscow: AN SSSR, 1961, pp. 1–104.

Teben'kova D.N., Lukina N.V., Chumachenko S.I., Danilova M.A., Kuznetsova A.I., Gornov A.V., Gagarin Yu.N., Mul'tifunktional'nost' i bioraznoobrazie lesnykh ekosistem (Multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems), *Lesovedenie*, 2019, No. 5, pp. 341–356.

UNSPF: United Nations strategic plan for forests 2017–2030 and quadrennial programme of work of the United Nations Forum on Forests for the period 2017–2020: Resolution adopted by the Economic and Social Council on 20 April 2017, 24 p. Distrib. General 07.2017, available at: https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/strategic_plan_2017_2030.pdf

Usol'tsev V.A., Bioraznoobrazie v ekosistemakh: kratkii obzor problemy (Biodiversity in ecosystems: a brief analysis of

the problem), *Eko-Potentsial, Biologiya*, 2019, No. 1(25), pp. 9–47.

Utkin A.I., Metodika issledovaniy pervichnoi produktivnosti lesov (Methods of researching the primary productivity of forests), In: *Biologicheskaya produktivnost' lesov Povolzh'ya* (Biological productivity of forests of the Volga region), Moscow: Nauka, 1982, pp. 59–71.

Vasil'ev N.G., Kolesnikov B.P., *Chernopikhtovo-shirokolistvennye lesa Yuzhnogo Primor'ya* (Black-fir-broad-leaved forests of southern Primorye), Moscow, Leningrad: AN SSSR, 1962, 147 p

Vozmishcheva A.S., Perepelkina P.A., available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23338>

УДК 630*.161

ГЕНЕРАТИВНАЯ СФЕРА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ КАК ИНДИКАТОР КЛИМАТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СМЕНЫ ЖИЗНЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ПОПУЛЯЦИЙ¹

© 2023 г. Н. Ф. Кузнецова*

Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии,
ул. Ломоносова, д. 105, Воронеж, 394087 Россия

*E-mail: nfsenyuk@mail.ru

Поступила в редакцию 03.02.2022 г.

После доработки 25.03.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

Обсуждаются проблемы перехода сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из состояния устойчивого к неустойчивому равновесию, смены равновесной популяции на неравновесную в результате потепления климата. Цель исследований — изучить состояние генеративной сферы южной и центральной лесостепных популяций сосны обыкновенной; по признаку полнотерности оценить их жизненное состояние в 2020 г. по сравнению с 2016 — годом дестабилизации сосновых лесов, а также относительно состояния степной популяции в урожайном 2017 г. Объектами исследования служили центральная и южная лесостепные популяции сосны, произрастающие на экологически благоприятной территории Воронежской и Белгородской областей. В 2015 г. зафиксирован переход их из равновесия в слабо неравновесную систему. Уровень полнотерности ступинской и белгородской популяций снизился соответственно на 25.6 и 24.6%, число семян — на 37.7 и 22.4%, уровень смертности семян повысился в 3.9 и 4.0 раза. Сравнение показателей семенной продуктивности в 2013, 2016 и 2020 гг. показало, что в настоящее время оба насаждения представляют равновесные системы. Центральная популяция вернулась к региональной норме (устойчивого равновесия), южная находится в состоянии неустойчивого равновесия. Дисперсионный анализ выявил существенное (57.8%) влияние фактора “ГТК” на генеративную сферу белгородской популяции по признаку полнотерности. В последнее десятилетие число оптимальных лет в ЦЧР уменьшилось с 7–8/10 лет до 5. Для возвращения сосновых лесов в равновесие требуется 3 оптимальных года. Высокие темпы потепления климата могут повлечь за собой нарушение равновесия и повторную дестабилизацию. Дальнейшее сокращение числа оптимальных лет делает почти невозможным возвращение сосновых лесов к региональной норме.

Ключевые слова: изменение климата, сосна обыкновенная, лесостепные популяции, семенная продуктивность, смена жизненного состояния.

DOI: 10.31857/S0024114823030063, **EDN:** PTGBOV

Изменение климата не раз происходило в истории Земли. В эти периоды ускорялось движение видовых ареалов, одни виды-эдификаторы сменялись на другие. Сегодня мир вновь вступил в эпоху климатической нестабильности. В разных странах изменение климата происходит неравномерно (Dias et al., 2015; IPCC, 2017). В России повышение среднегодовой температуры составляет 0.47°C/10 лет, что в 2.5 раза выше роста глобальной температуры (Доклад ..., 2021). Биология видов перестает соответствовать среде обитания, что является причиной ослабления лесов, перехода в

более низкое жизненное состояние и даже гибели (Allen et al., 2010; Касимов и др., 2011; Alberto et al., 2013; Gauthier et al., 2015; Kuznetsova et al., 2019).

Изменение климата Среднерусской лесостепи началось во второй половине XX в. За первые 25 лет летняя температура повысилась на 0.6°C, к концу века — на 1.9°C (Акимов, Задорожная, 2018). В XXI веке темпы потепления возросли, что подтверждается ростом активных температур (Виноградова, 2014; Виноградова и др., 2015). С 2000 по 2012 гг. их уровень достиг 2600–3000°C, что выше многолетних показателей на 250–350°C. Установлено, что нарушение термического режима связано с блокированием переноса западных воздушных масс, перемещением жаркого тро-

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер АААА-А17-117041800012-4.

пического воздуха и длительным его стационарированием на юге Европейской России (Акимов, Задорожная, 2018). Индекс SCEI снизился с -1 до -1.5 , ГТК — с 1.0 до $0.5-0.6$ (Виноградова, 2014; Виноградова и др., 2015). Увлажненные территории стали превышать засушливые всего на $10-15\%$. В 2007–2014 гг. в Центрально-Черноземном районе произошла мощная тепловая волна, которая включала 4 сильные засухи (2007, 2010, 2012, 2014 гг.) (Кузнецова и др., 2021). Началась “раскачка” сосновых лесов, которая вызвала их дестабилизацию.

В данном исследовании мы использовали две концепции, согласно которым лесные экосистемы на территории ареала могут находиться в равновесном и неравновесном состоянии (Крамер, Ван дер Верф 2010; Iglesias, Whitlock, 2020). Каждое из них, в свою очередь, подразделяется на две формы — устойчивую и менее устойчивую. Сосновые леса как сложные динамические системы представляют в порядке убывания следующий ряд: устойчиво равновесные, неустойчиво равновесные, слабо неравновесные, неравновесные, мертвые. Дифференциация, по-видимому, является следствием падения энергетического статуса: максимальный — у равновесных популяций, более низкий — у неравновесных, нулевой — у мертвых. Преимущество данного системного подхода заключается в том, что он дает возможность анализировать динамику изменчивости оптимально структурированных равновесных популяций, которые под воздействием климатического стресса могут переходить из одной формы в другую, а при достижении предельно допустимого порога скачком спускаться в более низкое жизненное состояние.

В центре ареала большинство популяций сосны обыкновенной находятся в состоянии устойчивого или неустойчивого равновесия. Общее жизненное состояние (ОЖС) сосновых лесов на индивидуальном и популяционном уровне принято оценивать по комплексу вегетативных и генеративных признаков (Боголюбов и др., 1999). Генеративная сфера сосны более чувствительна к среде обитания, часто используется как биоиндикатор для оценки ее изменения (Alaqueri et al., 2020). В оптимальные годы диапазон изменчивости показателей биопродуктивности шишек низкий, отклонения относительно флуктуаций внешней среды обратимы (Кузнецова и др., 2021). Это является подтверждением того, что популяции развиваются в режиме равновесной системы. В данном жизненном состоянии (ЖС) сосновые леса, как упорядоченные системы, характеризуются высоким бонитетом и устойчивостью к региональным стрессорам.

Смена равновесного жизненного состояния на более низкое (слабо неравновесное) существенно

изменяет функционирование предшествующих структур и функций, ведет к реорганизации метаболических процессов (Раутиан, 1993). В неравновесных популяциях нормы реакции деревьев перекрываются, что придает устойчивость как самому растению, так и популяции в целом. Поддержание гомеостаза и основных систем жизнеобеспечения растений в условиях, не соответствующих их биологии, невозможно без дополнительных энергетических затрат (Чудинова, Орлова, 2016). Переход лесных экосистем на менее затратный путь развития сопряжен с перестройкой энергетических процессов, что, с одной стороны, обеспечивает выживание растений в изменившихся условиях, а с другой — снижает их жизненный статус. При этом страдает вегетативная и генеративная сфера деревьев. Неравновесные популяции, как менее упорядоченные системы, в большей степени зависят от факторов внешней среды, имеют более низкую продолжительность жизни, бонитет, урожайность, качество семян.

Цель исследований — изучить состояние генеративной сферы южной и центральной лесостепных популяций сосны обыкновенной; по признаку полнотерности оценить их жизненное состояние в 2021 г. по сравнению с 2015 г. дестабилизации сосновых лесов, а также относительно состояния степной популяции в урожайном 2017 г.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Ступинский тест-объект (Воронежская обл., Рамонский р-н, 55–60-летние лесные культуры, контроль) — типичное по вегетативной и семенной продуктивности насаждение сосны в центре лесостепной зоны, объект 34-летнего мониторинга и комплексных эколого-генетических исследований (Kuznetsova, 2012; Клушевская, Кузнецова, 2016). Граничит с Воронежским заповедником, где эмиссионная нагрузка в 3.7 раза ниже, чем в Воронежской области (Куrolап и др., 2010). Опытный объект — южная лесостепная популяция сосны (Белгородская обл., Красненский р-н, 30-летние лесные культуры) является объектом мониторинга с 2010 г. Насаждение произрастает на серых лесных почвах широкой приовражной полосы в 50–60 км от пессимальной зоны ареала сосны.

Выборка включает 30 случайно взятых деревьев, объем одной пробы — 10–15 шишек типичной для дерева формы и размера. Интенсивность семеношения определялась по шкале В.Г. Каппера и трем признакам семенной продуктивности — полнотерности (%), числу семян на шишку (шт.), смертности оплодотворенных семечек (%). Эти экологически зависимые признаки имеют разную природу и порог чувствительности к засухе (Kuznetsova, 2012). Признак полнотерности характеризует выживание зародышей в эмбриогенезе, начинает реагировать на раннюю засуху,

Таблица 1. Показатели семенной продуктивности шишек и качества семян ступинской и белгородской популяций сосны обыкновенной

Год исследований	Полнозернистость, %	№ семян на шишку, шт.	Смертность оплодотворенных семяпочек, %	Лабораторная всхожесть, %
Ступинский тест-объект				
2013, opt	82.1 ± 2.62	23.6 ± 1.39	21.4 ± 1.85	82.1 ± 1.6
2016, дестабилизации	61.1 ± 3.40*	14.7 ± 1.21**	83.6 ± 13.17**	70.4 ± 3.3*
2020, opt	80.8 ± 1.34	28.0 ± 1.36	25.6 ± 2.49	86.5 ± 1.2
Белгородская популяция				
2013, opt	80.4 ± 2.08	29.9 ± 1.64	23.6 ± 1.74	81.8 ± 2.7
2016, дестабилизации	60.6 ± 3.64*	23.2 ± 2.70*	94.0 ± 17.24**	64.6 ± 4.6*
2020, opt	61.4 ± 3.02*	32.5 ± 1.83	76.3 ± 12.23**	79.7 ± 2.4

* Различия достоверны при $P < 0.05$; ** – различия достоверны при $P < 0.01$.

вычисляется как отношение количества полных семян к общему их числу (полные + пустые). Мелкие пустые капсулы из анализа исключаются. Второй показатель – число семян на шишку более устойчив к засухе. Его величина зависит от объема фертильной зоны шишки (Свинцова, 2002). Для определения частотного распределения деревьев диапазон изменчивости признаков разбит на 4 класса. Их границы по признаку полнозернистости: I – 0–24.9%; II – 25.0–49.9%; III – 50.0–74.9%; IV – 75% и выше; по числу семян: I – 0–9.9; II – 10.0–19.9; III – 20.0–29.9; IV – 30.0 семян и больше. Смертность оплодотворенных семяпочек определялась как соотношение пустых капсул к числу выполненных семян (Иванов и др., 2015). Размах изменчивости признака оценивался по классам в границах: I – 0–29.9%; II – 30.0–69.9%; III – 70.0–99.9%; IV – 100.0% и выше. Характеристика признаков и показателей ЖС, связанных со сменой ЖС популяций сосны обыкновенной, приведена в предыдущей работе (Кузнецова и др., 2021).

Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета программного обеспечения MS Excel-2010. Для сравнения выборок и оценки силы влияния факторов использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). С помощью двухвыборочного t-критерия с различными дисперсиями осуществляли оценку достоверности между выборками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среднерусская лесостепь – зона физико-географического оптимума вида сосны обыкновенной (Обновленский, 1962). Средний уровень ГТК составляет 1.0–1.2. Его величина между лесостепью и степью переходит через единицу. Периодичность засух – 2–3 в десятилетие. Зональная граница сосны на данном участке ареала совпадает с южным пределом зоны видового оптимума.

Сосновые леса (естественные, производные) веками на ее территории развивались по принципу взаимодействия “генотип-среда”, и большинство из них до конца XX в. находилось в состоянии устойчивого равновесия (Романовский, 2002; Kuznetsova et al., 2019). Сбалансированное развитие (средний бонитет I₇–II₆) обеспечивали благоприятные природно-климатические условия. В оптимальные годы интенсивность семеношения стабильно высокая (около 80%).

Сосновые леса развиваются в режиме равновесной системы в том случае, если они на следующий год после возмущения возвращаются к исходному состоянию и природно-климатические условия экологической ниши соответствуют биологии вида сосны обыкновенной (Кузнецова, 2021). Ступинская и белгородская лесостепные популяции на начальном этапе мониторинга также являлись равновесными системами. Их отличала устойчивость и сбалансированное развитие вегетативной и генеративной сферы большинства деревьев. В этом случае реакция на засуху представляла генетически обусловленный отклик, протекающий на базе неспецифической и специфической реакции (Kuznetsova, 2012). На следующий год их показатели всегда возвращались к региональной норме. Так, после неурожайного засушливого 2012 г. уровень полнозернистости ступинской популяции составил 82.1 ± 2.62%, белгородской – 80.4 ± 2.08% (табл. 1). Показатели смертности оплодотворенных семяпочек имели близкие значения. Число семян на шишку у деревьев белгородской популяции достоверно превышало уровень контрольного объекта.

Тепловая волна 2007–2014 гг. вызвала на территории ЦЧР ослабление сосновых лесов и массовое размножение вредителей. В последний год ее протекания в регионе произошли две засухи. Особенно жесткой была поздняя засуха 2014 г., во время которой за три осенних месяца выпало все-

го 20% от нормы осадков. Деревья ушли в зиму сильно ослабленными. Вероятно, уровень внутренней разбалансировки (дестабилизации) достиг критической точки, или точки невозврата. Деревья потеряли устойчивость, и весной следующего года при выходе из покоя они скачком перешли из основного равновесного состояния в качественно более низкий режим функционирования – слабо неравновесную систему. Подтверждением является то, что все показатели генеративной сферы сосны в оптимальном 2015 г. и в последующие годы были ниже региональной нормы (Кузнецова и др., 2021). В годы дестабилизации у ступинской популяции отмечены следующие изменения: снижение годового прироста терминальных побегов, урожайности деревьев, семенной продуктивности шишек и лабораторной всхожести семян. Обратный процесс – возврат к региональной норме продолжался в течение 3-х лет. В Воронежской области этому способствовали благоприятные погодные условия вегетационных сезонов 2015–2017 гг. В 2018 г. ступинская популяция вновь находится в состоянии равновесия и реагирует на засуху как равновесная система. Что касается Белгородской области, то летом 2016 г. на ее территории произошла слабая засуха, что не позволило опытной популяции вернуться к состоянию устойчивого равновесия.

В оптимальные годы пустосемянность лесостепных популяций составляет около 20% (Свинцова, 2002; Kuznetsova, 2012). Такие количественные показатели шишек, как полнотелость и число семян на шишку, на популяционном уровне маркируют генетическую структуру равновесных популяций с приблизительно одинаковым для каждого параметра соотношением между классами продуктивности (Kuznetsova, 2012). Несмотря на то, что данные показатели имеют разную природу, они связаны друг с другом обратной пропорциональной зависимостью. Признак полнотелости более чувствителен к погодному стрессу и начинает реагировать на слабую засуху. Количество семян снижается в сильную засуху. Параметр “смертность оплодотворенных семян” позволяет оценить на индивидуальном и популяционном уровне число погибших семян в засушливые и оптимальные годы и, что более важно, степень разбалансировки равновесных лесных экосистем в результате потепления климата.

Данные изучения семенной продуктивности деревьев опытной и контрольной популяций в три оптимальных для развития генеративной сферы сосны года (2013, 2016 и 2020 гг.) приведены в табл. 1. Популяционный анализ показал, что в урожае второго 2016 года дестабилизации по отношению к 2013 у обоих насаждений сохранялось достоверное снижение всех анализируемых признаков. При этом отметим, что во время дестабилизации особенно высокие отличия имели место

по смертности семян: превышение составило 3.9 раз у ступинской и 4.0 раз у белгородской популяции (табл. 1). Данные различия подтверждаются высокой вариабельностью признака. Так, у ступинской популяции коэффициент вариации (CV, %) выборки повысился с 9.2 до 86.3%. Мониторинг систем семенного размножения позволил сделать вывод, что популяции, произрастающие в центре и на юге лесостепной зоны, в течение 3 оптимальных лет (2015–2017 гг.) находились в состоянии слабо неравновесной системы (Кузнецова и др., 2021).

Анализ состояния генеративной сферы популяций в 2020 г. выявил, с одной стороны, существенные отличия по уровню полнотелости и смертности семян, а с другой – среднее количество семян в шишках белгородской популяции (32.5 ± 1.83 шт.) несколько превысило уровень 2013 г. (табл. 1). Сравнение показателей смертности оплодотворенных семян в урожае 2013 и 2020 гг. показало, что у белгородской популяции между годами сохраняются высокие различия. Его модальное значение превышает уровень 2013 г. в 3.2 раза (CV = 70.3%, диапазон изменчивости – 12.5–280%).

Полученные данные можно объяснить тем, что популяции находятся в равновесном состоянии, но в разных ее формах: ступинская – устойчивого, а белгородская – неустойчивого равновесия. Их различия по ЖС подтверждаются данными частотного распределения деревьев по уровню смертности семян (рис. 1). Выборка ступинской популяции представлена растениями I и II класса (рис. 1а). В III класс входит 1 дерево, а объем I класса больше в 2.75 раза, чем II-го. Белгородская популяция включает деревья всех четырех классов, с модой признака в области II класса (рис. 1б). Принимая во внимание, что уровень смертности семян опытного объекта во время дестабилизации составлял $94.0 \pm 17.24\%$, то текущий уровень ее внутренней разбалансировки (76.3 ± 12.23) близок к критической точке перехода на более низкий режим функционирования – неравновесной системы.

После трех оптимальных лет климатическая ситуация в регионе вновь коренным образом изменилась. 2020 и 2021 гг. оказались самыми теплыми за всю историю метеонаблюдений. В 2020 г. среднегодовая температура Воронежской области достигла нового рекорда – 9.8°C . Произошла сильная почвенная засуха, которая продолжалась с середины июля до конца октября. ГТК снизился до 0.7, что соответствует влагообеспеченности центра района степей. Засуха негативно отразилась на состоянии вегетативной сферы сосны. В сосновых лесах наблюдалось массовое пожелтение и опад хвои. При этом погодный стресс не затронул генеративную сферу сосны.

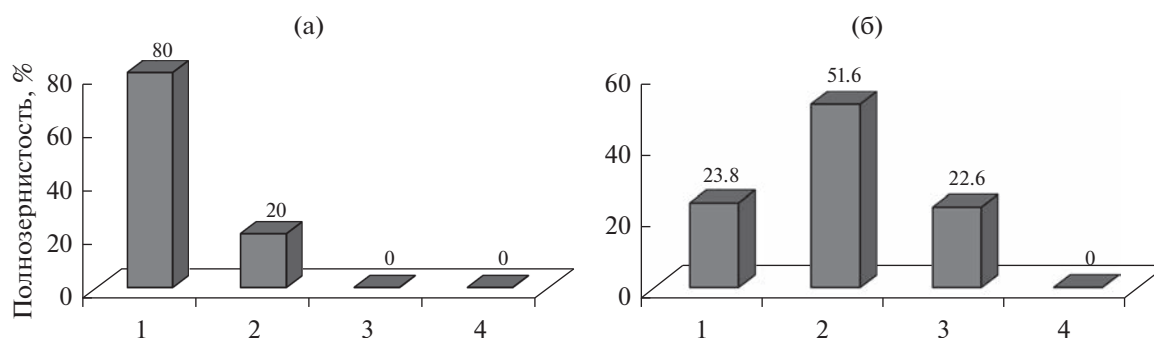


Рис. 1. Частотное распределение деревьев сосны обыкновенной по классам уровня смертности оплодотворенных семян на ступинской и белгородской популяциях, урожай 2020 г.

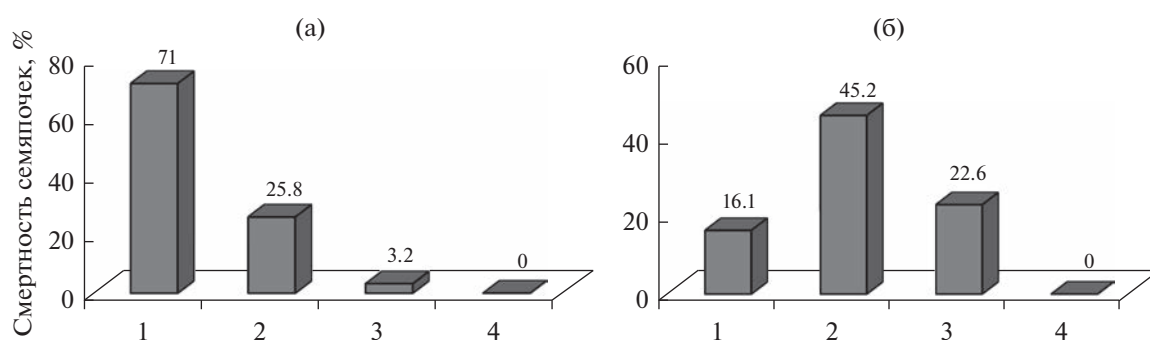


Рис. 2. Частотное распределение деревьев сосны обыкновенной по классам продуктивности признака полнотерности на ступинской (а) и белгородской (б) популяциях сосны обыкновенной, урожай 2020 г.

Учитывая все сказанное выше, проанализируем текущее состояние генеративной сферы южной и центральной лесостепных популяций. В Воронежской области термо- и влагообеспеченность первой половины вегетационного сезона 2020 г. были близкими к региональной норме. Наиболее чувствительные стадии репродуктивного цикла сосны обыкновенной приходятся на конец апреля, май и июнь. Это определило высокий уровень интенсивности семеношения ступинской популяции (4 балла). Урожайность и кривая распределения деревьев внутри выборки соответствуют уровню оптимальных лет: полнотерность семян $80.8 \pm 1.34\%$, при размахе варьирования признака 56.6–90.4% (табл. 2). Диапазон изменчивости признака ниже, чем в предыдущие годы: коэффициент вариации ра-

вен 9.2%. Сила влияния ГТК составляет всего 12.5%, что свидетельствует о слабом влиянии данного фактора на конечный результат половой репродукции.

На диаграмме рис. 2 приведены данные частотного распределения деревьев ступинской и белгородской популяций по классам продуктивности признака полнотерности. У ступинской популяции кривая изменчивости имеет асимметричный, типичный для оптимальных лет тип распределения. Растения низких I–II классов продуктивности отсутствуют (рис. 2а). Выборка представлена двумя продуктивными классами, из них 4/5 деревьев относятся к высокопродуктивному IV классу. Лабораторная всхожесть семян высокая – $86.5 \pm 1.24\%$ при размахе варьирования 73.5–98%.

Таблица 2. Влияние ГТК на признак полнотерности ступинской и белгородской популяций сосны обыкновенной в 2020 г.

Популяция	ГТК (за май–июль)	Полнотерность семян, %	Сила влияния фактора, %
Ступинская	1.0	80.8 ± 1.34	12.5
Белгородская	0.7	$61.4 \pm 3.02^*$	57.8

* Различия достоверны при $P < 0.05$.

Таблица 3. Влияние жизненного состояния (ЖС) популяции на признак полнотелности белгородского объекта сосны обыкновенной в 2020 г.

Популяция	Год	Тип ЖС	Полнотелность, %	CV, %	Сила влияния фактора, %
Белгородская	2020	Неустойчиво равновесная	61.4 ± 3.0	2.7	—
Белгородская	2016	Слабо неравновесная	60.6 ± 3.6	18.5	1.2
Ступинская	2020	Устойчиво равновесная	$80.8 \pm 1.3^*$	9.2	54.3
Ступинская	2016	Слабо неравновесная	61.1 ± 3.4	3.0	1.1
Кантемировская	2017	Слабо неравновесная	71.2 ± 3.5	26.6	7.2

* Различия достоверны при $P < 0.05$.

Несколько отличные результаты получены у белгородской популяции. Уровень полнотелности составил $61.4 \pm 3.0\%$, что достоверно ниже контроля (табл. 2). Коэффициент вариации по сравнению со Ступино в 2.3 раза выше — 21.3%. Диапазон изменчивости реализованной нормы реакции увеличился до 62.6% за счет смещения показателей деревьев в область нижних значений: 88.9—26.3%. Половина деревьев выборки относится к III классу (рис. 26). Резко снизилась доля растений высокопродуктивного IV класса. Появился низко продуктивный II класс. Его объем сопоставим с количеством высокопродуктивных форм в выборке. Растения с уровнем полнотелности ниже 25% отсутствуют. Согласно данным дисперсионного анализа, доля изменчивости, обусловленная фактором “ГТК”, составляет 57.8% от общей изменчивости, и он, как основной стрессор переходной зоны лесостепи, существенно влияет на снижение урожайности белгородской популяции.

Дополнительно проведен дисперсионный анализ изучения влияния фактора “жизненное состояние популяции” (ЖС) на изменчивость признака полнотелности у трех объектов сосны в разные годы: центрального лесостепного (2016 — год дестабилизации, 2020 — оптимальный год), южного лесостепного (2016 — год дестабилизации), кантемировского степного (2017 — оптимальный год) — по отношению к параметру белгородского насаждения (2020 г.). Как сказано выше, ступинская и белгородская популяции перешли в слабо неравновесное состояние в 2015 г. Степная популяция (Воронежская область, Кантемировский район, 35-летние лесные культуры) произрастает в районе степей на экологически благоприятной территории (Сердюкова, 2020). Это пессимальная зона ареала сосны обыкновенной, где природно-климатические условия соответствуют биологии вида лишь частично. Насаждение представляет слабо неравновесную систему. В оптимальном 2017 году оно характеризовалось пониженной семенной продуктивностью: полнотелность — $71.2 \pm 3.48\%$, число семян на шишку — 18.5 ± 1.03 шт. (Сердюкова, 2020; Degtyareva, 2021). Показатели коэффициен-

тов вариации, полнотелности и результатов однофакторного дисперсионного анализа их по-вариантного сравнения приведены в табл. 3.

Сравнение показателей лесостепной белгородской (2020 г.) со степной кантемировской популяцией (2017 г.) показал, что сила влияния фактора “ЖС” на уровень полнотелности незначительна и составляет 7.2% (табл. 3). Минимальное влияние фактора выявлено при сопоставлении данных ступинской и белгородской популяций в 2016 г. — 1.1—1.2%. Существенные различия (54.3%) установлены лишь в варианте сравнения контрольного и опытного объектов в 2020 г. Из проведенного анализа следует, что в настоящее время только сосна ступинского тест-объекта представляет устойчивую равновесную систему.

Второй признак — число семян на шишку — характеризуется высокой изменчивостью и зависит от генотипических особенностей материнских растений, индивидуальной продуктивности мегастробиллов дерева и величины фертильной зоны шишек. В районе исследований потенциальная продуктивность мегастробиллов составляет 14—76 семязачек (Свинцова, 2002), что существенно выше, чем у сосны обыкновенной лесной зоны (Романовский, 1997). Заморозки, недоопыленность и повреждение насекомыми являются основными причинами их элиминации (Романовский, 1997; Свинцова, 2002; Kuznetsova, 2012). Прогамная фаза репродуктивного цикла достаточно устойчива к флуктуациям внешней и внутренней среды. Гибель семязачек невысокая — ~5% (Свинцова, 2002), так как погодный стресс в период заложения семенных чешуй и формирования семязачек, как правило, не превышает верхний порог их устойчивости. У ступинской популяции число семян на шишку в 2020 г. составило 28.0 ± 1.36 шт. (17.3—46.2 шт.) (табл. 1). Это новый максимум, который не укладывается в диапазон изменчивости модальных значений выборки, полученных в ходе мониторинга 22 оптимальных лет (19.6—26.1 шт.). Мода признака находится в области деревьев III класса (20—30 шт.). Группа низко продуктивного II класса представ-

лена 5 растениями. Деревья с числом менее 10 семян отсутствуют. У опытного объекта модальное значение признака еще выше — 32.5 ± 1.83 шт. Различия между ступинской и белгородской популяцией недостоверны. Норма реакции смещена в область высокопродуктивных форм и включает три класса продуктивности. 2/3 деревьев имеют больше 30 семян. Лабораторная всхожесть — $79.9 \pm 2.83\%$, при более широком размахе варьирования признака — 42.0–98.0%.

Высокие показатели числа семян и лабораторной всхожести указывают на то, что белгородская популяция, в отличие от степной кантемировской, является равновесной системой. Пониженный уровень полнозернистости свидетельствует о том, что насаждение находится в состоянии неустойчивого равновесия, что, по-видимому, характерно для лесостепных популяций сосны, произрастающих в переходной зоне ареала.

Из приведенного анализа данных следует, что повышенный вдвое уровень пустосемянности, по-видимому, результат действия сил стабилизирующего отбора, который обеспечивает высокое качество семян в условиях более теплого и сухого климата. Стабилизирующий отбор является важной функцией полового воспроизведения (Щербаков, 2005). Согласно литературным данным, линейные размеры зародышей на начальной стадии роста характеризуются высокой изменчивостью на индивидуальном уровне и в пределах кроны деревьев. В ходе формирования семян их изменчивость снижается и достигает минимума на стадии завершения роста (Свинцова, 2002). Климатическая нестабильность усиливает разбалансировку экологически зависимых процессов и количественных признаков в пределах диапазона изменчивости их норм реакции. Повышенная изменчивость уменьшается в ходе стабилизирующего отбора, который ограничивает избыточную изменчивость путем удаления из семенного генофонда генетически нарушенных, инбредных, несовместимых с эндоспермом, отклоняющихся по размерам и форме генотипов. Морфологически данное явление выражается в виде увеличения пустосемянности шишек в урожаях оптимальных лет.

Потепление климата выводит биоклиматическую систему региона из состояния гомеостаза. На территории Среднерусской лесостепи нестабильность со стороны климатической ее составляющей реализуется путем сокращения более чем на треть числа оптимальных лет и увеличения вдвое частоты экстремальных событий (засух, тепловых волн). Это увеличивает вероятность перехода высокопродуктивных сосновых лесов в более низкое жизненное состояние, а шансы для их возврата к региональной норме, наоборот, падают.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ступинская и белгородская лесостепные популяции в 2013 г. находились в состоянии устойчивого равновесия. 8-летняя тепловая волна и засуха 2014 г. весной следующего года вызвали их переход на другой режим функционирования — слабо неравновесной системы. В оптимальном 2016 г. состояние дестабилизации сохранялось: уровень полнозернистости относительно 2013 г. снизился соответственно на 25.6 и 24.6%, число семян — на 37.7 и 22.4%, уровень смертности семян — на 3.9 и 4.0 раза.

Благоприятные погодные условия Воронежской области в течение трех лет обеспечили возврат центральной ступинской популяции к региональной норме (устойчивого равновесия). Анализируемые признаки семенной продуктивности в урожаях 2013 и 2020 гг. характеризуются небольшой амплитудой изменчивости и близки между собой по количественным параметрам.

Южная белгородская популяция из-за погодного стресса смогла вернуться только в состояние неустойчивого равновесия, в котором находится до настоящего времени. Число семян и их качество высокое. Уровень смертности семян снизился, но он по-прежнему очень высокий ($76.3 \pm 12.23\%$). Полнозернистость ниже уровня 2013 г. на 23.6%. Сила влияния фактора “ГТК” составляет 57.8%. Причиной данного явления, по-видимому, является стабилизирующий отбор. Его действие в системе “родители-потомки” обеспечивает высокое качество ее семян, сохранение и передачу от поколения к поколению региональной нормы вида, что достигается за счет повышенной пустосемянности шишек и поддержания гомеостаза внутренней среды в условиях климатической нестабильности.

Из трех признаков семенной продуктивности смертность оплодотворенных семян характеризуется самой высокой амплитудой изменчивости в оптимальные годы, отражая степень внутренней разбалансировки равновесных лесных экосистем сосны обыкновенной на индивидуальном и популяционном уровне их организации. Для оценки степени экологического неблагополучия лесостепных популяций в результате потепления климата данный признак может служить предиктором приближения ЖС популяций к нижнему пределу устойчивости равновесного состояния сосны обыкновенной.

Среднерусская лесостепь характеризуется высокими темпами потепления климата, что негативно отражается на ОЖС сосновых лесов. В последнее десятилетие количество оптимальных лет в регионе сократилось с 7–8/10 лет до пяти. Гидротермический стресс во время засухи повышает вероятность перехода сосны на более низкий уровень функционирования. Для возвращения из

неравновесного состояния в равновесие требует энергия, которая может накапливаться только в оптимальные годы. Дальнейшее сокращение их числа делает практически невозможным возврат сосновых лесов к региональной норме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов Л.М., Задорожная Т.Н. Особенности распределения трендов температуры воздуха на Европейской территории России и сопредельных государств // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 5–14.
<https://doi.org/10.17308/geo.2018.4/2260>
- Боголюбов А.С., Буйолов Ю.А., Кравченко М.В. Методика оценки жизненного состояния леса по сосне. М.: Экосистема, 1999. 25 с.
- Виноградова В.В. Волны тепла на Европейской территории России в начале XXI века // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 1. С. 47–55.
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-1-47-55>
- Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Динамика увлажнения и теплообеспеченности в переходных ландшафтных зонах по спутниковым и метеорологическим данным в начале XXI в. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 162–172.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 г. Москва, 2021. 104 с.
- Иванов В.П., Марченко С.И., Иванов Ю.В. Влияние погодных условий на женскую генеративную сферу сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 3(31). С. 114–129.
<https://doi.org/10.17223/19988591/31/9>
- Касимов Н.С., Кислов А.В., Чернышев А.В., Семин В.Н., Аляудинов А.Р. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI в. на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
- Клушевская Е.С., Кузнецова Н.Ф. Оценка устойчивости сосны обыкновенной к засухе по физиологическим характеристикам хвои // Лесоведение. 2016. № 3. С. 216–222.
- Крамер К., Ван дер Верф Д.С. Концепции равновесия и неравновесия в генетическом моделировании лесов: популяционные и индивидуальные подходы. Forest Systems. 2010. № 19. С. 100–112.
<https://doi.org/10.5424/fs/201019S-9312>
- Кузнецова Н.Ф. Взаимодействие генотип-среда и адаптивная селекция *Pinus sylvestris* L. на засухо- и стрессоустойчивость // Труды КубГАУ. 2021. № 91. С. 181–186.
<https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-181-186>
- Кузнецова Н.Ф., Клушевская Е.С., Аминев Е.Ю. Высокопродуктивные сосновые леса в условиях изменяющегося климата // Лесной журн. 2021. № 6. С. 9–23.
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-9-23>
- Куrolан С.А., Нестеров Ю.А., Епринцев С.А. Типизация территории Воронежской области по уровню техногенного воздействия на среду обитания // Вестник ВГУ. Серия География. 2010. № 1. С. 5–11.
- Обновленский В.М. Физико-географический оптимум произрастания сосны обыкновенной и использование его в семеноводстве // Тез. докл. XI науч.-техн. конф. по итогам науч.-иссл. работ за 1961 г. Брянского технол. ин-та. Брянск, 1962. С. 27–29.
- Раутиан А.С. О природе генотипа и наследственности // Журн. общей биологии. 1993. Т. 54. № 2. С. 132–149.
- Романовский М.Г. Формирование урожая семян сосны обыкновенной в норме и при мутагенном загрязнении. М.: Наука, 1997. 111 с.
- Романовский М.Г. Продуктивность, устойчивость и биоразнообразие равнинных лесов Европейской России. М.: МГУЛ, 2002. 92 с.
- Свинцова В.С. Характер изменчивости признаков репродуктивной сферы *Pinus sylvestris* L. в условиях среднерусской лесостепи: Воронежская область: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Воронеж, 2002. 20 с.
- Сердюкова А.П. Реакция сосны обыкновенной на изменение климата в условиях степной зоны Воронежской области // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов. Вып. 22. ВГУ, 2020. С. 177–181.
- Чудинова Л.А., Орлова Н.В. Изменчивость физиолого-биохимических показателей в зависимости от жизненного состояния модельных деревьев сосны обыкновенной // Экологический мониторинг и биоразнообразие. 2016. Т. 11. № 2. С. 168–172.
- Щербаков В.П. Эволюция как сопротивление энтропии. II. Консервативная роль полового размножения // Журн. общей биологии. 2005. Т. 66. № 5. С. 300–309.
- Alaquori H.A.A., Ozer Genc C., Aricak B., Kuzmina N., Cetin M. The possibility of using Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as bio-monitor in the determination of heavy metal accumulation // Applied Ecology and Environmental Research. 2020. V. 18. № 2. P. 3713–3727.
https://doi.org/10.15666/aeer/1802_37133727
- Alberto F.J., Aitken S.N., Alia R. et al., Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations // Global Change Biology. 2013. V. 19. № 6. P. 1645–1661.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12181>
- Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H. et al. A global overview of drought and heat induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests // Forest Ecology and Management. 2010. V. 259. № 4. P. 660–684.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Degtyareva A.P. Characteristics of *Pinus sylvestris* L. seeds under drought conditions in the steppe region of the Central Chernozem region // J. Agriculture and Environment. 2021. № 3(19).
<https://doi.org/10.23649/jae.2021.3.19.1>
- Diaz S., Demissew S., Carabias J. et al. The IPBES conceptual framework – connecting nature and people // Current Opinion in Environmental Sustainability. 2015. V. 14. № 3–4. P. 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>

Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Boreal forest health and global change // *Science*. 2015. V. 349. № 6250. P. 819–822.
<https://doi.org/10.1126/science.aaa9092>

Iglesias V., Whitlock C. If the trees burn, is the forest lost? Past dynamics in temperate forests help management strategies // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2020. V. 375. № 1794. P. 20190115.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0115>

IPCC. Climate Change 2022: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Montreal, Canada, 2017. P. 3–29.

Kuznetsova N.F. Self-fertility in Scots pine as a system for regulating close relationships and species survival in advance environment // *Advances in Genetics Research*. V. 9. N.Y.: Nova Science Publ., 2012. P. 83–106.

Kuznetsova N.F., Semenov M.A., Sautkina M.Yu. Pine forests of East European plain: distribution trends, functions and development problems // *Pinus: Growth, Distribution and Uses*. N.Y.: Nova Science Publ., 2019. P. 1–47.

Kramer K. Equilibrium and non-equilibrium concepts in forest genetic modeling: population- and individually-based approaches // *Forest Systems*. 2011. № 3(4). P. 100–109.
<https://doi.org/10.5424/fs/201019S-9312>

Scots Pine Generative Sphere as an Indicator of the Climate-Determined Change in Vital States of the Populations

N. F. Kuznetsova*

All-Russian Research Institute of Forest Genetics and Breeding,
 Lomonosov str., 105, Voronezh, 394087 Russia

*E-mail: nfsenyuk@mail.ru

The problems of transition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the stable state to an unstable equilibrium and the change of equilibrium population to non-equilibrium as a result of the global warming are discussed. The purpose of the research is to study the state of the southern and central forest-steppe Scots pine populations' generative sphere on the basis of its seed fullness, assess their vital state in 2020 compared to 2016 – the year of the pine forests' destabilisation, as well as compared to the state of the steppe populations in the abundant year of 2017. The objects of the study were the central and southern forest-steppe pine populations growing in the ecologically favourable territory of the Voronezh and Belgorod regions. In 2015, their transition from equilibrium to a slightly nonequilibrium systems was recorded. The level of seed fullness in the Stupino and Belgorod populations decreased by 25.6 and 24.6%, respectively, the number of seeds by 37.7 and 22.4%, and the mortality rate of ovules increased by 3.9 and 4.0 times. Comparison of the seed productivity indicators in 2013, 2016 and 2020 showed that at present both plantations can be considered equilibrium systems. The central population has returned to the regional norm (stable equilibrium), the southern one is in a state of unstable equilibrium. The analysis of variance revealed a significant (57.8%) influence of the HTC factor on the generative sphere of the Belgorod population on the basis of full grain. In the last decade, the number of optimal years in the CCR has decreased from 7–8/10 years to 5. It takes 3 optimal years to return pine forests to equilibrium. High rates of the global warming can lead to an imbalance and re-destabilization. A further reduction in the number of optimal years makes it almost impossible for pine forests to return to the regional norm.

Keywords: climate change, Scots pine, forest-steppe populations, seed productivity, changes in vital state.

Acknowledgements: The work has been carried out within the framework of the State contract No. AAAA-A17-117041800012-4.

REFERENCES

Akimov L.M., Zadorozhnaya T.N., Osobennosti raspredeleniya trendov temperatury vozdukh na Evropeiskoi territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (Features of distribution of air temperature trends in the European areas of Russia and adjacent countries), *Vestnik VGU. Ser. Geografiya. Geokologiya*, 2018, No. 4, pp. 5–14.
<https://doi.org/10.17308/geo.2018.4/2260>

Alaquori H.A.A., Ozer Genc C., Aricak B., Kuzmina N., Cetin M., The possibility of using Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as biomonitor in the determination of heavy metal

accumulation, *Applied Ecology and Environmental Research*, 2020, Vol. 18, No. 2, pp. 3713–3727.

http://dx.doi.org/10.15666/aer/1802_37133727

Alberto F.J., Aitken S.N., Alia R. González-Martínez S.C., Hänninen H., Kremer A., ... Savolainen O., Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations, *Global Change Biology*, 2013, Vol. 19, No. 6, pp. 1645–1661.

<https://doi.org/10.1111/gcb.12181>

Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., et al., A global overview of drought and heat induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *Forest Ecol-*

- ogy and Management, 2010, Vol. 259, No. 4, pp. 660–684.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Bogolyubov A.S., Buivolov Y.A., Kravchenko M.V., *Metodika otsenki zhiznennogo sostoyaniya lesa po sosne* (Methodology for assessing the vital state of the forest by *Pinus sylvestris*), Moscow: Ekosistema, 1999, 25 p.
- Degtyareva A.P., Characteristics of *Pinus sylvestris* L. seeds under drought conditions in the steppe region of the Central Chernozem region, *J. Agriculture and Environment*, 2021, No. 3(19).
<https://doi.org/10.23649/jae.2021.3.19.1>
- Diaz S., Demissew S., Carabias J. et al., The IPBES conceptual framework – connecting nature and people // Current Opinion in Environmental Sustainability, 2015, Vol. 14, No. 3–4, pp. 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2020 god, (Report on climate features in the Russian Federation for 2020), Moscow: Rosgidromet, 2021, 104 p.
- Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G., Boreal forest health and global change, *Science*, 2015, Vol. 349, No. 6250, pp. 819–822.
doi 10.1126/science.aaa9092.
- Iglesias V., Whitlock C., If the trees burn, is the forest lost? Past dynamics in temperate forests help management strategies, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2020, Vol. 375, No. 1794, p. 20190115.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0115>
- IPCC. Climate Change 2022: *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Montreal, Canada, 2017, pp. 3–29.
- Ivanov V.P., Marchenko S.I., Ivanov Y.V., Vliyanie pogodnykh uslovii na zhenskuyu generativnuyu sferu sosny obyknovЕННОй (*Pinus sylvestris* L.) (The impact of weather conditions on the development of female cones of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2015, No. 3(31), pp. 114–129.
<https://doi.org/10.17223/19988591/31/9>
- Kasimov N.S., Kislov A.V., Chernyshev A.V., Semin V.N., Alyaudinov A.R., *Ekologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i v Zapadnoi Sibiri* (Ecological and geographical consequences of global climate warming in the 21st century on the East European Plain and in Western Siberia), Moscow: MAKSS Press, 2011, 496 p.
- Klushevskaya E.S., Kuznetsova N.F., Otsenka ustoichivosti sosny obyknovЕННОй k zasukhe po fiziologicheskim kharakteristikam khvoi (The Scots pine draught tolerance assessment based on needle physiological indices), *Lesovedenie*, 2016, No. 3, pp. 216–222.
- Klushevskaya E.S., Kuznetsova N.F., Otsenka ustoichivosti sosny obyknovЕННОй k zasukhe po fiziologicheskim kharakteristikam khvoi (The Scots pine draught tolerance assessment based on needle physiological indices), *Lesovedenie*, 2016, No. 3, pp. 216–222.
- Kramer K., Equilibrium and non-equilibrium concepts in forest genetic modeling: population- and individually-based approaches, *Forest Systems*, 2011, No. 3(4), pp. 100–109.
<https://doi.org/10.5424/fs/201019S-9312>
- Kramer K., Van Der Verf D.S., Kontseptsii ravновесiya i neravновесiya v geneticheskom modelirovanii lesov: populyatsionnye i individual'nye podkhody (Equilibrium and non-equilibrium concepts in forest genetic modelling: population- and individually-based approaches), *Forest Systems*, 2010, No. 19, pp. 100–112.
<https://doi.org/10.5424/fs/201019S-9312>
- Kurolap S.A., Nesterov Y.A., S.A. Y., Tipizatsiya territorii Voronezhskoi oblasti po urovnyu tekhnogennogo vozdeistviya na sredu obitaniya (Classification of the Voronezh Region in terms of anthropogenic impact on the environment), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2010, No. 1, pp. 5–11.
- Kuznetsova N.F., Klushevskaya E.S., Amineva E.Y., Vysokoproduktivnye osnovnye lesa v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata (Highly Productive Pine Forests in a Changing Climate), *Lesnoi zhurnal*, 2021, No. 6, pp. 9–23.
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-9-23>
- Kuznetsova N.F., Self-fertility in Scots pine as a system for regulating close relationships and species survival in advance environment, *Advances in Genetics Research*, Vol. 9, N.Y.: Nova Science Publ., 2012, pp. 83–106.
- Kuznetsova N.F., Semenov M.A., Sautkina M.Yu., Pine forests of East European plain: distribution trends, functions and development problems, In: *Pinus: Growth, Distribution and Uses*, N.Y.: Nova Science Publ., 2019, pp. 1–47.
- Kuznetsova N.F., Vzaimodeistvie genotip-sreda i adaptivnaya selektsiya *Pinus sylvestris* L. na zasukho- i stressoustoichivost' (Genotype-environment interaction and breeding of *Pinus sylvestris* L. for drought and stress resistance), *Trudy KubGAU*, 2021, No. 91, pp. 181–186.
<https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-181-186>
- Obnovlenskii V.M., Fiziko-geograficheskii optimum proizvodstva sosny obyknovЕННОй i ispol'zovanie ego v semenovodstve (Physico-geographical optimum of Scotch pine growth and its use in seed production), Abstracts of XI Sci.-Tech. Conf. further to scientific-research works for 1961 of Bryansk tech. institute, Bryansk, 1962, pp. 27–29.
- Rautian A.S., O prirode genotipa i nasledstvennosti (On the nature of the genotype and of the heredity), *Zhurnal obshchei biologii*, 1993, Vol. 54, No. 2, pp. 132–149.
- Romanovskii M.G., *Formirovanie urozhaya semyan sosny obyknovЕННОй v norme i pri mutagennom zagryaznenii* (Formation of the Scotch pine seed crop under the normal conditions and the mutagenic pollution), Moscow: Nauka, 1997, 110 p.
- Romanovskii M.G., *Produktivnost', ustoichivost' i bioraznoobrazie ravninnykh lesov evropeiskoi Rossii* (Productivity, tolerance and biodiversity of the plain forests in European part of Russia), Moscow: Izd-vo MGUL, 2002, 91 p.
- Serdyukova A.P., Reaktsiya sosny obyknovЕННОй na izmenenie klimata v usloviyakh stepnoi zony Voronezhskoi oblasti (Scotch pine response to climate change in the steppe zone of the Voronezh region), In: *Organizatsiya i regulatsiya fiziologo-biokhicheskikh protsessov* (Organiza-

tion and regulation of physiological and biochemical processes), Voronezh: VGU, 2020, Vol. 22, pp. 177–181.

Shcherbakov V.P., Evolyutsiya kak soprotivlenie entropii. II. Konservativnaya rol' polovogo razmnozheniya (Evolution as a resistance to entropy. II. A conservative role for the sexual reproduction), *Zhurnal obshchei biologii*, 2005, Vol. 66, No. 5, pp. 300–309.

Svintsova V.S., *Kharakter izmenchivosti priznakov reproduktivnoi sfery Pinus sylvestris L. v usloviyakh srednerusskoi leso-stepi: Voronezhskaya oblast'. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* (The nature of the variability of the traits of the reproductive sphere of *Pinus sylvestris* L. in the conditions of the Central Russian forest-steppe: Voronezh region. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Voronezh, 2002, 20 p.

Vinogradava V.V., Titkova T.B., Cherenkova E.A., *Dinamika uvlazhneniya i teploobespechennosti v perekhodnykh landshaftnykh zonakh po sputnikovym i meteorologicheskim dannym v nachale XXI veka* (Dynamics of moisture and heat fluxes in transitional landscape zones from satellite and meteorological data in the beginning of the XXI century), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 2, pp. 162–172.

Vinogradova V.V., *Volny tepla na Evropeiskoi territorii Rossii v nachale XXI v.* (Heat waves in the European Russia at the beginning of the 21st century), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2014, No. 1, pp. 47–55.

УДК 630*165:582.47:630*231

ПЛОЩАДЬ ПИТАНИЯ И РОСТ ДЕРЕВЬЕВ В СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ

© 2023 г. М. В. Рогозин*

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Генкеля, д. 4, Пермь, 614990 Россия

*E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.02.2021 г.

После доработки 18.02.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

Изучены культуры 1Б класса бонитета полнотой 0.95 на площади 0.64 га, созданные на вырубке по схеме 1.82×1.10 м. На план наносили живые и отпавшие деревья и площади их питания в программе “ArcMap-ArcView”. Территорию разделили на 9 секций, с густотой 76–122% от среднего по насаждению. Доставшаяся деревьям в возрасте 30 лет площадь питания повлияла на диаметр ствола в 55 лет в редких местах древостоя с силой 13.3%, а в густых местах — с силой 5.0%. То есть подтвердилась гипотеза, что влияние площади питания дерева на диаметр ствола может быть слабым также и в среднем возрасте насаждений, и уровень его влияния зависит от густоты древостоя. Отпад деревьев к 55 годам коррелировал с частотой в классах площади питания ($r = 0.96 \pm 0.03$), поэтому площадь питания менее среднего значения повышала вероятность отпада дерева к 55 годам всего лишь на 7%. Выдвинуто предположение, что снижение влияния площади питания при высокой густоте происходит из-за усиления кооперации деревьев. При имитационном разреживании культур, с увеличением площади питания у оставляемых деревьев в 2 раза было получено соответствующее увеличение диаметра только у 11% деревьев. Остальные 89% деревьев не воспользовались доставшейся им большей площадью питания и не увеличили свои размеры, несмотря на 25 лет развития при более свободном стоянии. Это указывает на то, что в культурах второго класса возраста увеличение площади питания деревьев уже не приводит к улучшению их развития в подавляющем числе случаев. Поэтому густоту следует снижать в намного более раннем возрасте, например, в 10–15 лет.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесные культуры, древостой, густота, площадь питания, размер деревьев.

DOI: 10.31857/S0024114823030087, EDN: PVGIFC

К настоящему времени получили развитие исследования, где рост деревьев изучают в многофакторных пространственных моделях (Стороженко, 2007; Колобов, 2014; Грабарник, Секретенко, 2015) с анализом волновых процессов смены поколений и структуры насаждений на фоне внешних и внутренних факторов (Гавриков, 2013; Усольцев, 2013), а также взаимодействие деревьев в биогруппах и микроценозах (Вайс, 2014; Рогозин, 2019). Также были начаты, но, к сожалению, не продолжены исследования еженедельной динамики прироста у соседствующих деревьев в девственных лесах (Горячев, 1999). Эти исследования в конечном счете формируют теоретические основы современного лесоводства, в котором должны соединиться “теория лесообразовательного процесса”, “популяционная биология” и “теоретическая экология”, частью которой является и недавно возникшая “лесная биогеофизика” (Тихонова, 2020).

В качестве факторов влияния на рост деревьев необходимо использовать независимые переменные величины. К их числу относится и площадь питания дерева. Она выступает в качестве внутреннего фактора, и лесовод может ее регулировать в течение всей жизни древостоя (Правила ..., 2017). Так, средняя площадь питания дерева влияет на средний диаметр древостоя сосны с силой 88–94% (Нагимов, 2000). Однако касательно влияния индивидуальной площади питания дерева и густоты микроценоза дело обстоит иначе.

Поясним, что расчеты “средней” и “индивидуальной” площади питания дерева сильно отличаются. Первую рассчитывают делением площади на число растений на ней (в лесоводстве чаще используют обратную ей величину — густоту стояния деревьев на 1 га), и она отражает действие густоты на уровне всего фитоценоза (Рогозин, 2019). Исследований по этой теме достаточно, в особенности для лесных культур (Прокопьев,

1981; Плантационное ..., 2007; Терехов, Усольцев, 2008; Мерзленко, Бабич, 2011), тогда как для “индивидуальной” площади питания, действующей на уровне микроценоза, исследований немного, а методы различны (Горячев, 1999; Борисов и др. 2014; Грабарник, Секретенко, 2015).

Разбор этих методов показал (Рогозин, 2019), что использование зависимых от размеров дерева так называемых “пропорциональных расстояний” приводит к завышенной оценке влияния площади питания дерева. Эта завышенная оценка была основанием для внедрения интенсивных рубок ухода, действующих и поныне (Правила ..., 2017). Они основаны на господствовавшей весь XX в. идее тотальной конкуренции в растительных сообществах. Однако теории таких рубок подобны уже неким фантомам (Рогозин, 2017) и вполне отвечают понятию “нарратива” (Карабаева, 2003), т.е. объяснению явлений таким образом, что их содержание выстраивается в зависимости от задуманного автором финала (для рубок ухода это получение ликвидной древесины). Такой нарративный финал имела знаковая для своего времени книга “Рубки ухода за лесом в новом освещении” Г.Р. Эйтингена (1934). Однако ныне эти идеи уже не отвечают реальному ходу роста насаждений, где действуют не только закон естественного изреживания (единственный закон, на котором основаны Правила ухода за лесом), но и череда других законов: закон развития древостоев в зависимости от начальной густоты Г.С. Разина (1979), ранговый закон роста деревьев Е.Л. Маслакова (1984) и выдвинутые недавно (Рогозин, 2019) новые законы — закон генетического гомостаза частот правых и левых форм деревьев А.М. Голикова (Голиков, 2011, 2014), закон неравномерного размещения деревьев и закон ослабления конкуренции в микроценозах.

Свидетельства ослабления конкуренции в микроценозах есть в работе В.А. Усольцева с соавт. (2018), который на 20 пробных площадях в сосняках в возрасте 20–40 лет определил индексы конкуренции для центрального дерева и соседей, полученные 10 способами. Эти индексы повлияли на фитомассу и прирост дерева в естественных молодняках соответственно на 5 и 11%, а в 20-летних культурах — лишь на 0.2 и 3%. При этом на радикальный прирост в естественных насаждениях индексы конкуренции воздействовали с силой 36%, а в культурах — с силой 11% (Усольцев и др., 2018).

Вопросы конкуренции мы изучали ранее в массиве сосны в возрасте 184 лет, где влияние соседей на рост центрального дерева исследовали четырьмя методами (Рогозин, 2019). Выяснилось, что густота микроценозов размером 0.01 га в возрасте 120 лет повлияла на диаметр деревьев в возрасте 184 года с силой 10.1%, а площадь питания дерева — с силой 7.7%. Другие методы показали

еще меньшие значения, и поэтому конкурентное давление на дерево со стороны соседей можно считать слабым. На основании этих данных выдвинуто положение, что в микроценозах сосны к спелому возрасту внутривидовая конкуренция ослабевает и меняется на взаимное партнерство. Последнее выражается в корреляции диаметров у соседствующих деревьев, которая имеет место до расстояния 4.5 м, и влияние такого партнерства оказалась до 10 раз сильнее конкуренции (Рогозин, 2019).

Принято считать, что конкуренция в насаждении наиболее высока при максимуме прироста в возрасте 40–50 лет (Анучин, 1982). Чрезвычайно сильны в этом возрасте также дифференциация и отпад деревьев (Чирков, 2004). Однако в моделях развития древостоев важна количественная оценка конкуренции. Для этого иногда используют оценки на основе густоты, подразумевая, что чем она больше, тем выше отпад. Однако здесь происходит незаметная подмена смыслов — *давление* конкуренции отождествляют с *уровнем густоты* либо с *отпадом* деревьев. Между густотой, отпадом и давлением конкуренции связь, конечно, существует, но эти явления разные. И тут возникает вопрос, в каких единицах надлежит измерять силу конкуренции и как оценивать ее действие?

Так, используемые “индексы конкуренции” дерева (Усольцев, 2013; Усольцев и др., 2018) не отражают какое-либо новое явление и содержат известные показатели — диаметр ствола, высоту дерева, размеры его кроны при их отношении к площади питания дерева или к расстояниям до соседствующих деревьев. Их переводят в относительные величины, т.е. измеряют по отношению к среднему значению, которое принимают за единицу, называя полученное значение “индексом”. Однако для измерения *давления* конкуренции нужно выделить долю (обусловленность или силу) этого давления на ростовые или физиологические показатели. В биологии априорно считается (Костерин, 2007; Баландин, 2010), что растения в сообществах взаимодействуют преимущественно как конкуренты за ресурсы и поэтому “давят” друг на друга тем сильнее, чем ближе между ними расстояние и больше их размеры.

Но между деревьями есть и явление партнерства, которое выражается, в частности, в виде разнесения на 1–2 недели максимумов прироста у деревьев-соседей во время вегетации, открытое В.М. Горячевым (1999). То есть деревья “приспосабливаются” друг к другу, вероятно, эпигенетически и “выбирают” для себя разное время отбора ресурсов питания, занимая разные *экологические ниши* во времени. Явление партнерства ослабляет конкуренцию и вполне объясняет успешный рост до 40–57% (!) деревьев в плотных биогруппах в молодняках (Маслаков, 1984; Марченко, 1995), в

среднем возрасте (Ипатов, Тархова, 1975; Маслаков, 1999) и спелых насаждениях (Сеннов, 1999; Рогозин, 2019).

Явление, открытое В.М. Горячевым (1999), почти неизвестно лесоведам; однако оно имеет колоссальную важность и выступает как одно из главных положений в новой парадигме лесоведения (Рогозин, 2019). В насаждении мы *всегда* наблюдаем действие конкуренции и партнерства вместе. Не зная, как их разделять, причем желательно делать это быстрее, чем, например, при способе В.М. Горячева (измеряя прирост у деревьев каждую неделю во время вегетации), различия между размерами деревьев *априорно приписывают* действию конкуренции, а то, что она не может объяснить появление плотных биогрупп, относят к действию микроусловий (даже не пытаюсь выяснить силу их влияния количественно).

На наш взгляд, в связи с неясностью единиц, в которых надлежит измерять собственно конкуренцию, следует отказаться от термина “индекс конкуренции”, в котором простые показатели роста дерева при их отношении к его пространственному размещению заменены абстрактными словами с иным смыслом, которого не было в исходных показателях. По-видимому, их введение было вызвано стремлением упростить многословные термины. В результате сложное явление было редуцировано до одной только конкуренции.

Все сказанное выше относится к “световой” конкуренции. И лишь немногие авторы пытаются выяснить влияние “корневой” конкуренции (Терехов, Усольцев, 2008, 2010; Санников, Санникова, 2014). Здесь возникают чисто технические трудности, ограничивающие объем выборки, что не позволяет пока рассчитать количественно влияние фактора корненасыщенности на рост отдельных деревьев в пределах их “световой” площади питания. При этом слабо изучается и давно известное, но совершенно парадоксальное явление — срастание корней деревьев, которое наблюдается иногда у 60% деревьев сосны и которое свидетельствует о явной кооперации деревьев (Демаков, 2018; Усольцев и др., 2018). При этом остается неизвестным, в каких лесорастительных зонах и типах леса срастание корней усиливается, а где его можно не заметить и по-прежнему априорно считать конкуренцию корневых систем доминантой во взаимоотношениях между особями как одного, так и разных видов деревьев. Эти вопросы представляют собой малоизученную проблему, однако и по вопросам “световой” конкуренции остается много неясностей.

Таким образом, по итогам обзора литературы можно сформулировать общую сверхзадачу — необходимо исследовать соотношение конкуренции и сотрудничества деревьев в период высокой полноты в среднем возрасте насаждений, для ко-

торого данных недостаточно. Конкуренцию можно изучать с использованием нескольких показателей, например, площадей питания, давления соседей на центральное дерево в виде суммы их диаметров, давления с учетом расстояний до них, суммарное давление соседей на единицу площади питания дерева в центре и т.д. Среди этих, а также более сложных методов с использованием прироста лесоведам пока не удалось выявить лучшие из них из-за слабых связей с продукционными показателями и недостаточности выборок (Усольцев, 2013). Поэтому следует использовать максимальные выборки и вначале простые методы, после чего переходить к более сложным. Для данной работы мы взяли показатели площади питания и диаметры стволов деревьев. Они будут отражать влияние фактора густоты на уровне микроценоза на размер дерева в его центре. В следующих статьях и монографии мы используем другие вышеперечисленные показатели конкуренции.

Так как большая часть исследователей считает конкуренцию зависимой от плотности ценоза, то следует выбрать древостой с разной густотой, где желательно изучить также отпад деревьев. Для этого вполне подходят культуры сосны с густотой посадки около 5 тыс. шт. га⁻¹, в которых сильное естественное изреживание начиналось в возрасте 30–35 лет при полноте 1.2–1.3, которая затем неизбежно снижалась (Прокопьев, 1981; Рогозин, Разин, 2015).

С учетом этих соображений из общей сверхзадачи и конкретно для данной работы можно выдвинуть гипотезу о том, что влияние площади питания дерева на диаметр его ствола в среднем возрасте насаждений может быть слабым и будет зависеть от густоты древостоя.

В связи с этим целью работы было изучение влияния индивидуальной площади питания деревьев на их размеры и отпад в 55-летних культурах сосны на участках с разной густотой. Для среднего возраста насаждений эти данные будут получены впервые с достаточной статистической точностью.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследовали рядовые культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в возрасте 55 лет, состав 10С, созданные в 1967 г. на вырубке 1950-х годов в кв. 73 бывшего Нижне-Курьинского лесничества Закамского лесхоза (ныне леса Пермского городского лесничества). Территория предназначалась под строительство, и на ней провели раскорчевку, однако строительство отменили и на площади 3.2 га создали культуры сосны посадкой по схеме 1.82 × 1.10 м (5.0 тыс. шт. га⁻¹). В них мы выбрали территорию без больших прогалин и заложили пробную площадь размером 80 × 80 м (0.64 га), где колебания густоты были вызваны в

основном пропусками мест в рядах из-за остатков корчевки, а также разной приживаемостью культур. Местоположение участка относительно ровное, с перепадом высот от его центра на восток и запад в пределах 1.0–1.5 м. В первой половине XIX в. леса здесь были пройдены рубками (1830–1840 гг.), чтобы получить древесный уголь для заводов г. Перми, и поэтому повсеместно встречаются характерные следы в виде кольцевых канав в местах выжигания угля. Насаждение расположено на надпойменной террасе р. Камы, почва супесчаная, тип леса — сосняк кисличниковый.

Методика работ включала в себя картирование живых и отпавших деревьев по опорным и промежуточным визирам и прямоугольным координатам с итоговой точностью нанесения на план соседствующих деревьев в пределах ± 5 –10 см, с определением диаметра ствола с точностью ± 0.1 см через его окружность на высоте 1.3 м. Перед этим у дерева в 2019 г., осенью, подрумянивали грубую корку, наносили номер и отмечали место измерения окружности ствола для повторных измерений в последующие годы с целью определения текущего прироста. План оцифровали в программе “ArcMap-ArcView” и пробную площадь виртуально разбили на 9 секций по 0.071 га для изучения флуктуаций густоты. Такие размеры секций обеспечивали получение выборки с числом деревьев 70–100 шт., которые образовывали минимальный по численности макроценоз. Методика построения полигонов питания вокруг каждого дерева известна (Мартынов, 1976; Тябера, 1978). В компьютерном варианте (Рогозин, 2019) ее особенность состояла в том, что расстояния до ближних 4–8 соседей делили пополам и проводили через эти точки перпендикулярные линии; их соединяли и получали полигон питания. Считалось, что все деревья в раннем возрасте имели равные шансы на использование доставшейся им площади питания. При выстраивании полигонов питания требовались соседи, поэтому использовали деревья и за границами секций.

Основные таксационные показатели определяли в два этапа. Вначале рассчитывали густоту по секциям и далее, ориентируясь на ее близкие значения, а также принимая во внимание рельеф территории, с целью определения средней высоты древостоя эти секции разделили на четыре неравные группы, в которых раздельно определяли высоты для построения затем графиков зависимости между высотой и диаметром ствола дерева. Всего было измерено 137 высот деревьев из всех ступеней толщины. Относительная полнота была определена для каждой из 9 секций размером по 0.071 га. Для ее точного определения вначале специально рассчитывали так называемую “верхнюю” высоту яруса по деревьям, имеющим диаметры выше среднего с целью определения высоты господствующей части древостоя, необходимой для входа

в стандартную таблицу полноты и запасов насаждений (Разин, 1977; Рогозин, Разин, 2015). При рубках ухода в данных культурах убирали только усохшие деревья. Это позволило с учетом следов от старых пней ретроспективно определить площадь питания каждого дерева для возраста примерно 30 лет (далее — площадь питания).

Таксационные показатели все взаимосвязаны, и в качестве ведущих или “указывающих” на размер других используют лишь некоторые из них: возраст дерева, диаметр ствола, высоту дерева и размер кроны (Нагимов, 2000; Демаков, 2018). При этом последние два измеряют обычно всегда у модельных деревьев, выбирая их по частотам диаметра. Модели широко используют при изучении крон (Разин, 1979), корневых систем (Терехов, Усольцев, 2008; Санников, Санникова, 2014), площади листовой поверхности и фитомассы деревьев (Усольцев, 2013). Такие исследования требуют больших трудозатрат.

В биологическом плане диаметр ствола дерева вторичен, так как является следствием работы фотосинтезирующего аппарата. Тем не менее именно диаметр ствола занимает первые места в исследованиях роста деревьев (Маслаков, 1984; Кузьмичев, 2013). В данной работе мы также использовали диаметр ствола как основную характеристику развития дерева. Конечно, было бы желательно изучить также и текущие приросты деревьев. Однако этот углубленный анализ мы используем далее и уже достаточно скоро после повторных измерений диаметров у всех деревьев на пробной площади.

Анализ различий между показателями площади питания, диаметрами стволов и коэффициентами корреляций между ними проведен для уровня значимости $t_{0.05}$ по принятым статистическим процедурам (Усольцев, 2013; Демаков, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Закладка пробной площади проведена в центре выдела культур, на удалении от прогалин и деревьев естественного возобновления. Расположение деревьев и полигонов питания на секциях пробной площади и её обрамлении показаны ниже (рис. 1).

На пробной площади учтено 858 живых и 238 отпавших деревьев (137 сухостойных и 101 старый пень). Из результатов таксации следует, что в возрасте 30 лет густота насаждения колебалась в пределах 72–127% от среднего значения, и к возрасту 55 лет ее колебания сократились до 76–122% (табл. 1).

В целом на пробной площади средняя густота в 55 лет составила 1.32 тыс. шт. га⁻¹, с колебаниями по секциям от 1.05 до 1.63 тыс. шт. га⁻¹. Средние высоты изменялись от 25.7 до 28.1 м (размах

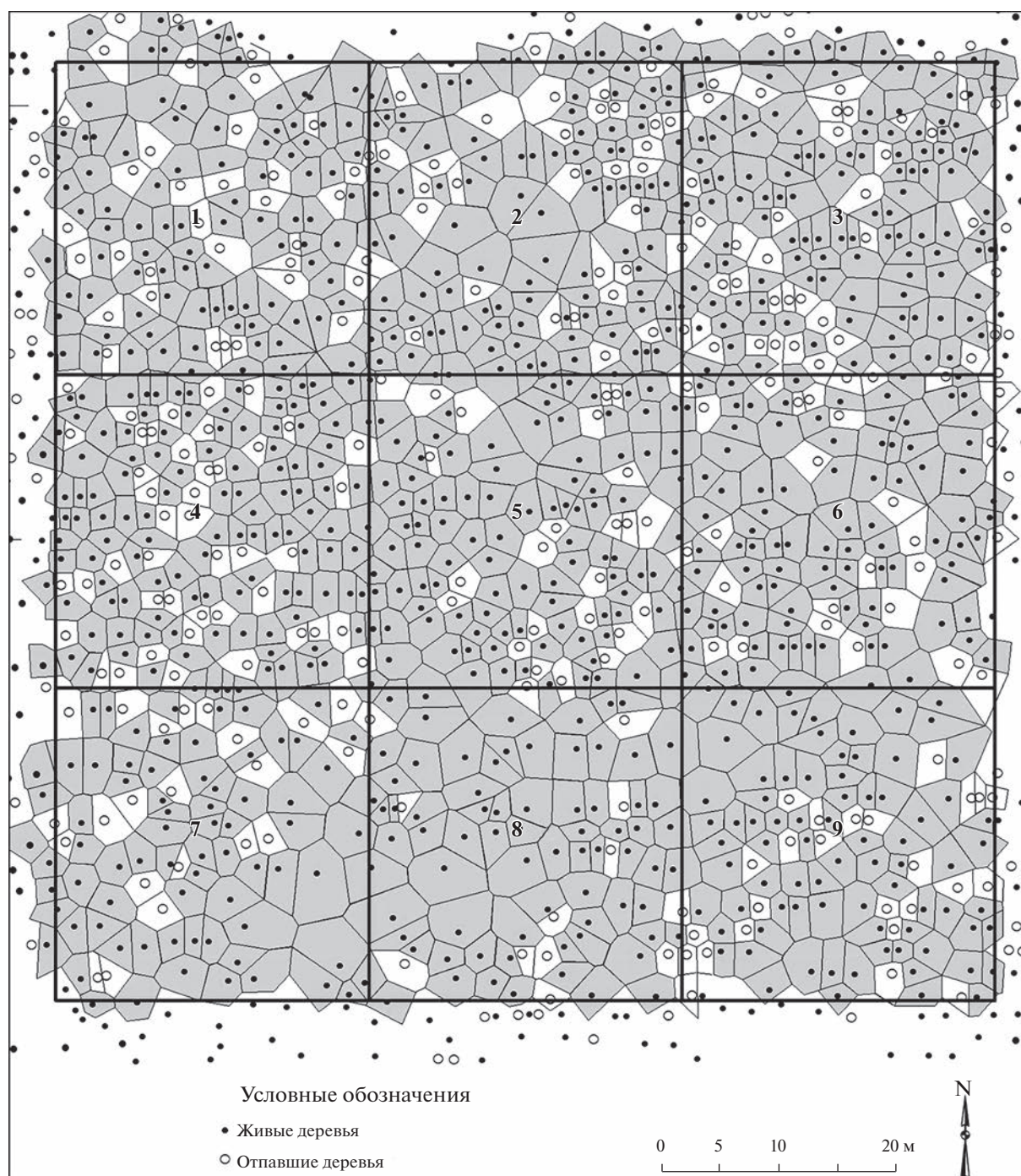


Рис. 1. Полигоны питания деревьев в 55-летних культурах сосны на пробной площади 0.64 га с ее обрамлением на общей площади 0.85 га.

2.4 м), тогда как в господствующей части средние высоты колебались несколько меньше: от 26.8 до 28.7 м (размах 1.9 м). Несмотря на близкие значения последних высот, которые относительно среднего значения менялись от 97.1 до 104.0%, стандарты полноты и запаса из местных таблиц использованы разные. В результате относительная полнота и запас по секциям менялись соот-

ветственно от 0.85 до 1.00 и от 490 до 590 м³/га⁻¹. В среднем относительная полнота равна 0.95 при запасае древесины 534 м³/га⁻¹. Соотношение средних высот и возраста классифицирует древостой на всех секциях 1Б классом бонитета.

Колебания густоты в возрасте 30 лет по секциям вполне ожидаемо повлияли на средний диа-

Таблица 1. Некоторые таксационные и иные показатели древостоя культур сосны в возрасте 30 и 55 лет на пробной площади размером 0.64 га и на 9 секциях по 0.071 га

Показатели	Номера секций									Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Число деревьев в возрасте 30 лет, шт.	116	126	139	155	130	120	89	83	107	118.3
Число деревьев в возрасте 55 лет, шт.	85	96	105	111	106	95	69	72	81	91.1
Густота в возрасте 55 лет, шт./га	1195	1350	1477	1561	1491	1336	970	1013	1139	1281
То же, %	93	105	115	122	116	104	76	79	89	100
Средний диаметр, см	21.6	20.1	19.4	19.0	19.7	20.9	22.6	22.9	21.5	20.9
То же, %	103	97	93	91	94	100	108	110	103	100,0
Высота средняя, м	27.5	26.3	26	25.7	25.8	27.6	28	28.1	27.9	27.0
Высота господствующая, м	28.2	26.8	26.8	26.8	26.8	28.7	28.2	28.3	28.2	27.6
Полнота, м²/га	43.7	43.0	43.6	44.5	44.9	45.7	38.9	41.8	41.2	43.0
Стандарт полноты, м²/га	45.6	45	45	45	45	46	45.6	45.6	45.6	45.4
Стандарт запаса, м³/га	570	550	550	550	550	590	570	570	570	563
Относительная полнота	0.96	0.96	0.97	0.99	1.00	0.99	0.85	0.92	0.90	0.95
Запас, м³ /га	550	530	530	540	550	590	490	520	510	534
Корреляция (r) между площадью питания и диаметром ствола	0.31	0.25	0.21	0.14	0.15	0.25	0.34	0.45	0.27	0.26
Коэффициент детерминации (r²) при переводе в %	9.6	6.0	4.5	2.0	2.1	6.2	11.8	20.5	7.5	7.8

метр ствола: показатель аппроксимации линии тренда по девяти точкам оценивает ее влияние равным $R^2 = 0.95$; также достаточно сильно, при $R^2 = 0.83$, она повлияла на корреляцию в секциях между площадью питания дерева и диаметром ствола (рис. 2).

Подобное влияние густоты на диаметры деревьев отмечалось и у других исследователей (Разин, 1977; Нагимов, 1999; Вайс, 2014). Однако в соответствии с целью исследования нас прежде всего интересует, как воздействуют флуктуации густоты на аспект влияния *индивидуальной* пло-

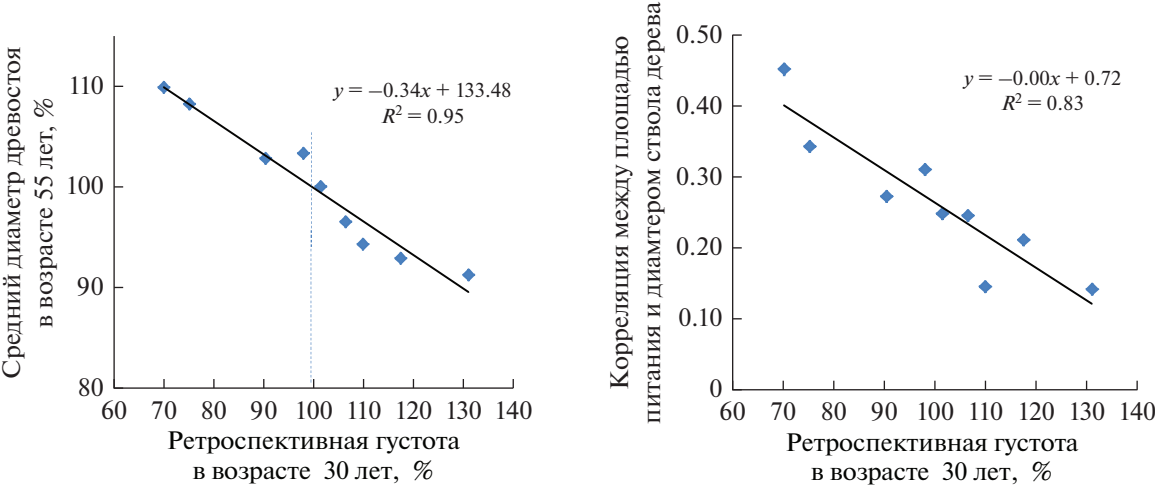


Рис. 2. Влияние густоты культур в возрасте 30 лет на средний диаметр древостоя в 55 лет и на корреляцию между площадью питания и диаметром ствола.

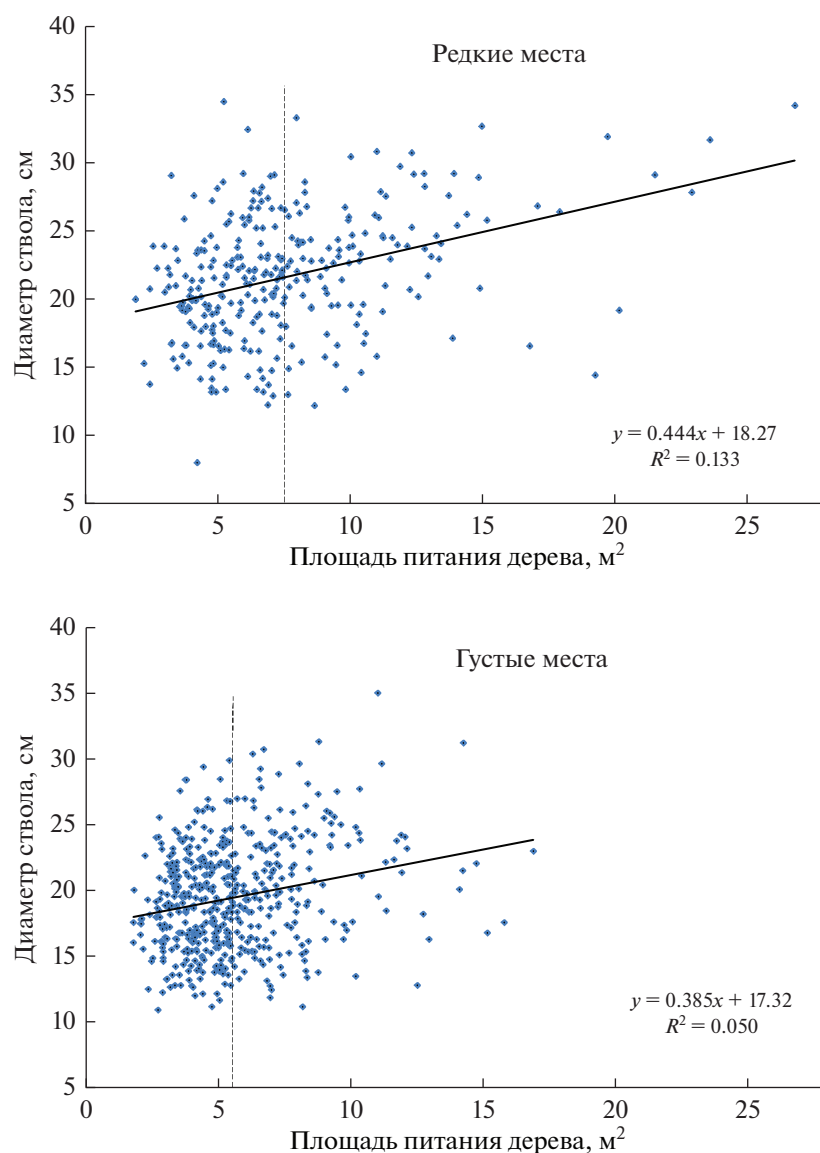


Рис. 3. Влияние площади питания дерева в возрасте 30 лет на диаметр ствола в возрасте 55 лет в редких и густых местах древостоя.

щади питания. Для этого 9 секций разделили на две группы. Первую образовали в редких местах древостоя, где густота в 30-летнем возрасте была ниже средней и колебалась в пределах 70–98% от нее (секции 1, 7, 8, 9). Вторую сформировали из остальных пяти пробных площадей (секции 2, 3, 4, 5, 6), где густота была выше (101–131%). На рис. 2 слева эти группы разделены вертикальным пунктиром.

Выше в табл. 1 в редких местах культур (секции 1, 7, 8, 9) были приведены корреляции между площадью питания и диаметром дерева, которые колебались в пределах 0.14–0.45, и в густых местах они были наиболее слабыми (0.14–0.25). При возведении коэффициента корреляции в квадрат и переводе полученных долей единицы в процен-

ты, можно получить коэффициент детерминации, который в среднем равен 7.8%, с колебаниями от 2.0 до 20.5%. Столь значительные колебания влияния густоты на изучаемую связь вынуждают провести далее анализ материала с разделением массива данных на две совокупности (рис. 3).

В редких и густых местах древостоя культур средние значения площади питания были равны соответственно $7.50 \pm 0.21 \text{ м}^2$ и $5.53 \pm 0.11 \text{ м}^2$ при среднеарифметическом диаметре ствола $21.6 \pm 0.26 \text{ см}$ и $19.3 \pm 0.18 \text{ см}$. Различия между средними площадями питания и диаметрами составили 27 и 12% и были высоко достоверны: для площади питания $t = 8.2 > t_{0.99} = 2.6$ и для диаметра $t = 7.2 > t_{0.99} = 2.6$.

Показатели аппроксимации R^2 влияния площади питания на диаметр ствола в редких и густых местах были равны соответственно 0.133 и 0.050. С учетом объема выборок средний показатель аппроксимации для всего насаждения равен $R^2 = (0.133 \times 308 + 0.050 \times 518) / 826 = 0.081$ или 8.1%. Выше в табл. 1 это же влияние при оценке по коэффициенту детерминации соответствовало в среднем 7.8%. Полученные значения близки, и поэтому общую оценку влияния доставшейся дереву в 30-летнем возрасте площади питания на диаметр его ствола в возрасте 55 лет в этих культурах сосны можно считать в целом равной 8.1%.

Коэффициенты корреляции между площадью питания и диаметром ствола в редких и густых местах были равны соответственно $r = 0.365 \pm 0.049$ и $r = 0.224 \pm 0.042$. Различие достоверно при $t = 2.17 > t_{0.95} = 1.97$. Это позволяет уверенно говорить о том, что влияние площади питания на диаметр ствола в густых местах достоверно слабеет; значения показателя R^2 для трендов на рис. 3 также снижаются от 0.133 до 0.050 или в 2.7 раза.

В литературе (Усольцев, 2013; Усольцев и др., 2018) есть сведения о слабом (0.2–3.0%) влиянии площади питания на размер деревьев по индексам конкуренции, наблюдаемом в более густых культурах сосны во втором классе возраста, в их сравнении с естественными молодняками, где это влияние несколько усиливалось (до 5–11%). Полученные нами слабые влияния совпадают по уровню с упомянутыми данными В.А. Усольцева, характерными для 20–40-летнего возраста, что позволяет, с рядом оговорок на разные условия, начать выстраивать некоторую теоретически возможную динамику влияния площади питания на размеры деревьев в более старших возрастах (через 55-летний возраст наших культур). Далее такие же слабые влияния получены нами уже только в возрасте сосны 184 года (Рогозин, 2019), поэтому остаётся пробел в этой динамике для возраста сосняков 100–120 лет.

Обнаруженное ослабление влияния площади питания на размер деревьев в густых местах культур парадоксально для существующего ныне понимания внутривидовой конкуренции. Большинство биологов представляют ее вполне в духе идей Ч. Дарвина, как непрерывную “борьбу особей за существование” в сообществе себе подобных (Костерин, 2007; Баландин, 2010), и при таком ее понимании при увеличении плотности популяции конкуренция *должна* усиливаться и приводить к снижению размеров каждой особи. Именно так это и происходит в секциях (см. рис. 2), где на уровне древостоя деревья реагируют на повышение плотности их существования согласованным снижением размеров каждого его члена, и сила этой согласованной реакции на повышение общей густоты достигает 95%.

Однако на уровне отдельного дерева такого сильного влияния уже нет — здесь влияние густоты всего ценоза “рассыпается” на множество индивидуальных взаимодействий между соседствующими деревьями. Частями этого взаимодействия являются *конкуренция и кооперация* в освоении ресурсов питания, о чем уже говорилось, как о разделении экологических ниш питания во времени — явления, обнаруженном В.М. Горячевым (1999). В этом свете совершенно по-иному можно интерпретировать резкое ослабление (в 2.7 раза) влияния площади питания на диаметр ствола в густых местах, здесь обнаруженное. Такое ослабление можно считать свидетельством возможного усиления положительного взаимодействия деревьев, которое проявляет себя, в том числе через образование биогрупп, в которых до перестойного возраста существуют 40% деревьев без существенного снижения их размеров (Рогозин, 2019).

Результатом конкуренции является также отпад деревьев и его зависимость от доставшейся дереву площади питания. Всего на девяти секциях нами учтено 238 отпавших деревьев. Были построены ряды распределения отпавших и живых деревьев по площади их питания с градуировкой между классами 1 м² (рис. 4).

Вполне ожидаемо, что средняя площадь питания у отпавших деревьев была достоверно меньше (5.01 ± 0.20 м²), чем у деревьев, учтенных как бывшие живыми в возрасте 30 лет (для этого мы сложили вместе живые и отпавшие деревья), у которых площадь питания была определена равной 6.29 ± 0.10 м². Сравнение рядов распределения показало, что в классе с наименьшей площадью питания (2 м²) погибло 50% деревьев, однако он имеет малую численность и слабо влияет на общую картину отпада, где главную роль играют модальные классы. Это хорошо видно при сравнении частот площадей питания у живых и отпавших деревьев, тесно коррелирующих при $r = 0.96 \pm 0.03$ (рис. 4).

То есть деревья погибали почти одинаково часто во всех классах площади питания. Если взять шесть модальных классов со значениями от 3 до 8 м² (81% значений площади питания), то в них погибло 18–23% деревьев в каждом при площади питания 5, 6, 7 и 8 м² и несколько больше — 26 и 32% деревьев — в классах 4 и 3 м² (в среднем по всем шести классам по 23%). Доля отпавших в этих модальных классах деревьев составила 87% от всех погибших к 55 годам особей. Поэтому в картине естественного отпада они играют основную роль. Если же оценивать отпад дерева по принципу “отпад произошел из-за площади питания менее среднего значения”, то для этого случая отпад составил 57%, а остальные 43% деревьев отпали при площадях питания выше средних значений. То есть “обладание” площадью питания менее среднего значения в 30-летнем возрасте увеличивает

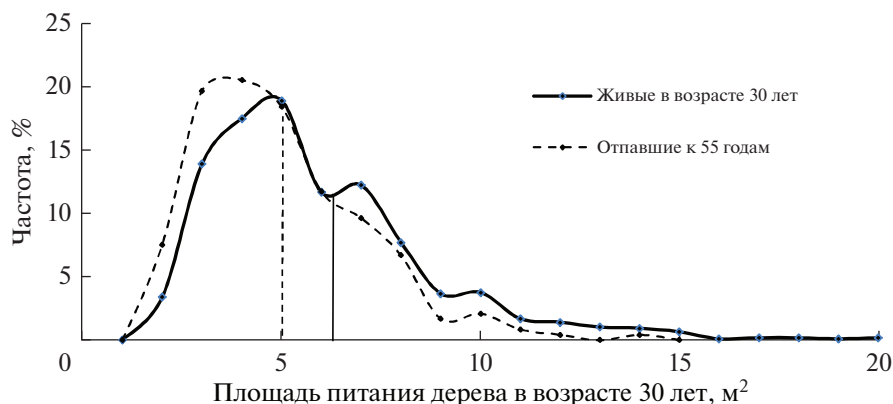


Рис. 4. Площадь питания в возрасте 30 лет у всех учтенных для этого возраста деревьев и деревьев, отпавших к возрасту 55 лет. Вертикальные линии — средние значения.

вероятность отпада дерева к 55 годам всего лишь на 7% в сравнении со случаем, если бы он не зависел от площади питания и был бы по 50% в ту и другую сторону от ее среднего значения.

Отсюда следует такой же парадоксальный для конкуренции вывод, как и выше для диаметра ствола, а именно, отпад дерева в однородных экологических условиях в очень малой степени определяется конкурентным давлением соседей, и деревья погибают при самом разном расстоянии между собой и при разных площадях питания.

Располагая большими совокупностями деревьев в разных по густоте местах ценоза (выборки 308 и 518 шт. деревьев), их можно использовать далее в качестве имитационных моделей. Идея имитации состоит в ответе на вопрос, как бы реагировали диаметры стволов в возрасте 55 лет на то, если бы в возрасте 30 лет скопления деревьев разрешили. Посмотрим, что произойдет с диаметрами стволов, если площади питания возрастут примерно в два раза. Для этого каждую из совокупностей поделили на две части, точно по среднему значению площади питания в них. Результаты представлены в таблице (табл. 2).

Так, из 308 деревьев в редких местах культур отделили выборку из 192 деревьев с площадью питания менее среднего значения (менее 7.55 м²), обозначенную в табл. 2 как “*Snum* малая”, со средним значением 5.4 м². Остальные 116 деревьев образовали вторую выборку “*Snum* большая”, где средняя площадь питания составила 11.25 м², что в 2.083 раза или на 108.3% больше, чем в первой. Если бы диаметры во второй выборке увеличились на такую же величину, что и площадь питания (т.е. на 108.3%), то эффект для диаметра от увеличения площади питания дерева был бы 100%. Однако он увеличился только на 11.8%, и отношение увеличения диаметра к увеличению площади питания составило $11.8/108.3 =$

$= 0.109$ или 10.9%. Эта оценка близка к показателю аппроксимации ($R^2 = 0.133$) для тренда на рис. 3. Близкий результат в табл. 2 дают и расчеты по доле стволов (11.6%), которые сформировали диаметры выше среднего в этой выборке.

В густых местах древостоя аналогичные расчеты показали, что в совокупности из 518 деревьев можно образовать выборку из 313 деревьев с площадью питания менее средней (менее 5.54 м²), со средним значением 4.03 м². Остальные 205 деревьев образуют выборку с площадями питания выше среднего значения и со средней площадью питания 7.84 м², что в 1.945 раза или на 94.5% больше, чем в первой выборке. Средний диаметр увеличился здесь в 1.097 раза или на 9.7%. Отношение увеличения диаметра ствола к увеличению площади питания составило $9.7/94.5 = 0.103$ или 10.3%. Такой же результат дают и расчеты по доле стволов (10.3%), которые выросли с диаметрами выше среднего там, где выборка имела увеличенные в 2 раза площади питания. Последняя оценка оказалась выше показателя $R^2 = 0.050$ для соответствующего тренда на рис. 3; однако влияние увеличения площади питания на возрастание диаметра ствола все равно осталось на уровне первых десяти процентов, т.е. весьма слабым.

Полученные выше при имитации разреживания данные можно интерпретировать как “правильную” реакцию диаметра ствола на увеличение площади питания только у 10.3–11.6% (в среднем у 11%) деревьев. Остальные 89% деревьев не воспользовались доставшейся им большей площадью питания и не увеличили диаметр ствола.

В литературе есть данные о разреживании древостоев в длительных опытах с рубками ухода, начиная с возраста 40 лет (Сеннов, 1984, 1999). Они показали их неэффективность для повышения производительности насаждений, т.е. наша имитация таких рубок вполне подтверждается стро-

Таблица 2. Имитация рубок ухода по площади питания (S_{num}) в возрасте 30 лет и их возможный результат при оценке по диаметру стволов в 55-летних культурах сосны

Показатели	Вся совокупность	Выборки		Увеличение	
		$S_{\text{пит}}$ малая	$S_{\text{пит}}$ большая	в число раз	%
Редкие места культур (секции 1, 7, 8, 9)					
Число наблюдений, шт.	308	192	116	—	—
Средняя площадь питания (Scp), м ²	7.55	5.4	11.25	2.083	108.3
Средний диаметр ствола (Dcp), см	21.6	20.71	23.15	1.118	11.8
Эффект для диаметра ствола от увеличения площади питания дерева (Dcp/Scp)	—	—	—	0.109	10.9
Доля стволов с диаметром выше среднего, %	48.0	39.9	61.6	—	—
Увеличение доли стволов с диаметром выше (+) или ниже (—) 50%, %	—2.0	—10.1	11.6	—	—
Густые места культур (секции 2, 3, 4, 5, 6)					
Число наблюдений, шт.	518	313	205	—	—
Средняя площадь питания (Scp), м ²	5.54	4.03	7.84	1.945	94.5
Средний диаметр ствола (Dcp), см	19.3	18.6	20.41	1.097	9.7
Эффект для диаметра ствола от увеличения площади питания дерева (Dcp/Scp)	—	—	—	0.103	10.3
Доля стволов с диаметром выше среднего, %	47.6	41.6	56.7	—	—
Увеличение этой доли выше или ниже 50%, %	—2.4	—8.4	6.7	—	—

Примечание. Показатель не рассчитывали.

гой практикой. Однако даже столь длительные опыты не поколебали идею интенсивных разреживаний в насаждениях среднего возраста (Правила ..., 2017), хотя еще в 1980-е годы уже было доказано, что в соответствии с “ранговым законом роста деревьев в молодняках” Е.Л. Маслакова (1984) регуляция густоты необходима намного раньше — в первом классе возраста, что подтвердил и длительный опыт плантационного выращивания леса (Плантационное ..., 2007). Что действительно может быть связано с конкурентным давлением деревьев-соседей в наших культурах, так это отпад деревьев средних размеров. В числе усыхающих деревьев их менее 10%, но их гибель без видимых причин всегда вызывает вопросы. Возможно, это и влияние крупных соседей, и особенности литологии в точке их локализации или иные, пока малоизученные факторы.

Таким образом, подтвердилась гипотеза о том, что влияние площади питания дерева на диаметр ствола может быть слабым также и в среднем возрасте насаждений, а уровень этого влияния зависит от густоты древостоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы пространственного анализа позволили сформировать две большие совокупности из деревьев в местах с разной густотой культур. На участках с редким расположением деревьев, обусловленным, по-видимому, пропуском посадочных мест из-за наличия порубочных остатков, доставшаяся дереву примерно в 30-летнем возрасте, площадь питания повлияла на диаметр его ствола в возрасте 55 лет с силой 13.3%, а в более густых местах ее влияние снизилось до 5.0%. Такое парадоксальное снижение и в целом слабое влияние площади питания на размер дерева (в среднем 7.8%) можно объяснить следующим образом. Вероятно, помимо конкуренции существует и партнерство деревьев; при этом в течение вегетации наступление максимума прироста у дерева может меняться, и деревья “приспосабливаются” друг к другу разнесением во времени пиков фотосинтеза и, следовательно, отбора элементов питания и тем самым резкого ослабления конкуренции между соседствующими деревьями. Явле-

ние это впервые установил В.М. Горячев (1999), и оно во многом объясняет слабое влияние площади питания в других наших исследованиях, где деревья росли в плотных биогруппах вплоть до перестойного возраста. Однако идея “разделения экологических ниш во времени” принимается в том случае, если презумпция априорного доминирования конкуренции будет заменена на ее равенство, а возможно, и на подчинение явлению партнерства деревьев, которое изучено крайне недостаточно.

При имитационном разреживании культур с увеличением площади питания у деревьев почти в 2 раза было получено соответствующее “правильное” увеличение диаметра только у 11% деревьев. Остальные 89% деревьев не воспользовались доставшейся им большей площадью питания и не увеличили свои размеры, несмотря на 25 лет развития при более свободном стоянии. Это указывает на то, что во втором классе возраста увеличение площади питания деревьев уже не приводит к их лучшему развитию в подавляющем числе случаев. Поэтому густоту следует снижать в намного более раннем возрасте, например, в 10–15 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н.Н. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
- Баландин Р.К. Анти-Дарвин. Миражи эволюции. М.: Яуза, Эксмо, 2010. 350 с.
- Борисов А.Н., Иванов В.В., Екимов Е.В. Метод оценки пространственного распределения ресурса в экологической нише // Сибирский лесной журн. 2014. № 5. С. 113–121.
- Вайс А.А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности (на примере насаждений Западной и Восточной Сибири): автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск, 2014. 33 с.
- Гавриков В.Л. Рост леса: уровни описания и моделирования. Красноярск: Сибирский Федеральный Университет, 2013. 176 с.
- Голиков А.М. Эколого–диссимметричный и изоферментный анализ структуры модельных популяций сосны обыкновенной // Лесоведение. 2011. № 5. С. 46–51.
- Голиков А.М. Эколого–диссимметрический подход в генетике и селекции видов хвойных. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 162 с.
- Горячев В.М. Влияние пространственного размещения деревьев в сообществе на формирование годичного слоя древесины хвойных в южнотаежных лесах Урала // Экология. 1999. № 1. С. 9–19.
- Грабарник П.Я., Секретенко О.П. Анализ горизонтальной структуры древостоев методами случайных точечных полей // Сибирский лесной журн. 2015. № 3. С. 32–44.
- Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. 432 с.
- Ипатов В.С., Тархова Т.Н. Количественный анализ ценологических эффектов в размещении деревьев по территории // Ботанический журн. 1975. Т. 60. № 9. С. 1237–1250.
- Карабаева А.Г. Нарратив в науке и образовании // Серия “Symposium”. Инновации и образование. Выпуск 29. Сборник материалов конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское философское общество, 2003. С. 89–96.
- Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.
- Костерин О.Э. Дарвинизм как частный случай “бритвы Оккама” // Вестник ВОГиС. 2007. Т. 11. № 2. С. 416–431.
- Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
- Мартынов А.Н. Зависимость биометрических показателей сосны от площади питания // Лесоведение. 1976. № 5. С. 85–88.
- Марченко И.С. Биополе лесных экосистем. Брянск: БГИТА, 1995. 188 с.
- Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная промышленность, 1984. 168 с.
- Маслаков Е.Л. Генезис и динамика социальных структур сосны в фазе индивидуального роста // Таежные леса на пороге XXI в. СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 1999. С. 42–51.
- Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления: учебное пособие. Архангельск: САФУ, 2011. 239 с.
- Нагимов З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Екатеринбург: УГЛА, 2000. 409 с.
- Плантационное лесоводство / Под ред. И. В. Шутова. СПб.: СПбГПУ, 2007. 366 с.
- Правила ухода за лесами. М.: МПР РФ. Приказ № 626 от 22.11.2017.
- Прокопьев М.Н. Культур сосны в таежной зоне. М.: Лесная промышленность, 1981. 136 с.
- Разин Г.С. Эскизы таблиц хода роста древостоев (сосны, ели, березы и осины) с полнотой 1.0 по бонитетам // Основные положения организации и развития лесного хозяйства Пермской области. Гослескомитет СССР. В/О “Леспроект”. Пермь, 1977. С. 437–455.
- Разин Г.С. Динамика сомкнутости одноярусных древостоев // Лесоведение. 1979. № 1. С. 23–25.
- Рогозин М.В. Фантомы теорий рубок ухода // Бюллетень науки и практики. 2017. № 4(17). С. 48–55. <https://doi.org/10.5281/zenodo.546284>
- Рогозин М.В. Структура древостоев: конкуренция или партнерство? [Электронный ресурс]. Пермь: ПГНИУ. 2019. 223 с. <http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publicatsii/monografii-123123/rogozin-m-v-struktura-drevostoev-konkurentsia-ili-partnerstvo>
- Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы [Электронный ресурс]: монография.

Пермь: ПГНИУ, 2015. 277 с. URL: <http://k.psu.ru/library/node/299086>; <http://elibrary.ru/item.asp?id=24420793>

Санников С.Н., Санникова Н.С. Лес как подземно-со-
мкнутая дендроценоэкосистема // Сибирский лесной
журн. 2014. № 1. С. 25–34.

Сеннов С.Н. Уход за лесом: экологические основы. М.:
Лесная промышленность, 1984. 127 с.

Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за есте-
ственной динамикой леса // СПб.: СПбНИИЛХ, 1999.
98 с.

Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества:
(теория и эксперимент). М.: Институт лесоведения
РАН, 2007. 190 с.

Терехов Г.Г., Усольцев В.А. Формирование, рост и био-
продуктивность опытных культур ели сибирской на
Урале: Исследование системы связей и закономер-
ностей. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 215 с.

Терехов Г.Г., Усольцев В.А. Морфоструктура насажде-
ний и корнена насыщенность ризосферы культур ели си-
бирской и вторичного лиственного древостоя на Сред-
нем Урале как характеристика их конкурентных отно-
шений // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVIII.
№ 3–4. С. 1–7.

Тихонова И.В. Четыре опоры к фундаменту современ-
ного устойчивого лесоводства // Лесные экосистемы:
современные вызовы, состояние, продуктивность и
устойчивость. Материалы междунар. научно-практ.
конф., посвященной 90-летию Института леса НАН
Беларуси (Гомель, 13–15 ноября 2020 г.). Гомель: Ин-
ститут леса НАН Беларуси. 2020. С. 97–101.

Тябера А.П. Площадь роста дерева и ее определение
аналитическим способом // Лесной журн. 1978, № 2.
С. 12–16.

Усольцев В.А. Продукционные показатели и конку-
рентные отношения деревьев. Исследование зависи-
мостей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. 556 с.

Усольцев В.А., Часовских В.П., Акчурина Г.А., Осмирко А.А.,
Кох Е.В. Фитомасса деревьев в конкурентных услови-
ях: исследование системных связей средствами ин-
формационных технологий. Екатеринбург: УГЛТУ,
2018. 526 с.

Чирков Г.В. Закономерности формирования древесно-
го отпада в хвойных древостоях Ленинградской обла-
сти: автореф. дис. ... к. с.-х. наук: 06.03.02. СПб. 2004.
24 с.

Эйтинген Г.Р. Рубки ухода за лесом в новом освеще-
нии. М., 1934. 224 с.

Feeding Area and Growth of Trees in the Middle-Aged Pine Plantations

M. V. Rogozin*

Perm State University, Genkelya st., 4, Perm, 614990 Russia

*E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Pine plantations of class 1B were studied, with a density of 0,95 on an area of 0,64 ha, created in a cleared area following the 1.82×1.10 m plan. Alive and dead trees and their feeding areas were plotted on the plan in the ArcMap-ArcView programme. The territory was divided into 9 sections, with a density of 76–122% of the average for the plantation. The feeding area the trees had at the age of 30 years affected the trunk diameter at 55 years in sparse areas of the stand on average by 13.3%, and in denser areas by 5.0%. That confirmed the hypothesis that the influence of the tree feeding area on the trunk diameter can also be weak in the middle-aged stands, and the magnitude of its influence depends on the density of the stand. Tree mortality by the age of 55 correlated with the frequency in feeding area classes ($r = 0.96 \pm 0.03$), thus the feeding area being less than the average value increased the probability of a tree falling off by the age of 55 by only 7%. It has been suggested that the decrease in the affect the feeding area has at high density is due to the increased cooperation of trees. With simulated thinning of the stands, with an increase in the feeding area of the remaining trees by 2 times, a corresponding increase in diameter was obtained only in 11% of the trees. The remaining 89% of the trees did not take advantage of the larger feeding area and did not increase in size, despite 25 years of development with a sparser standing. This indicates that in plantations of the second age class, an increase in the feeding area no longer leads to an improvement in their development in the vast majority of cases. Therefore, the density should be reduced at a much earlier age, for example, at 10–15 years.

Keywords: Scots pine, forest plantations, forest stands, density, feeding area, tree size.

REFERENCES

Anuchin N.P., *Lesnaya taksatsiya* (Forest taxation), Mos-
cow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.

Balandin R.K., *Anti-Darvin. Mirazhi evolyutsii* (Anti-Dar-
win. Mirages of evolution), Moscow: Yauza Eksmo, 2010,
350 p.

Borisov A.N., Ivanov V.V., Ekimov E.V., *Metod otsenki*
prostranstvennogo raspredeleniya resursa v ekologicheskoi
nishe (The method for evaluation of the resource space dis-

tribution in ecological niche), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2014,
No. 5, pp. 113–121.

Chirkov G.V., *Zakonomernosti formirovaniya drevesnogo ot-*
pada v khvoynykh drevostoyakh Leningradskoi oblasti.
Avto-ref. diss. k. s.-kh. nauk (Patterns of the formation of tree
waste in coniferous stands of the Leningrad Region. Ex-
tended abstract of Candidate's agric. sci. thesis), Saint Pe-
tersburg, 2004, 24 p.

Demakov Y.P., *Struktura i zakonomernosti razvitiya lesov re-*
spubliki Marii El (Structure and regularities of development

- of forests of Mari El republic), Ioshkar-Ola: Povolzhskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 2018, 432 p.
- Eitingen G.R., *Rubki ukhoda za lesom v novom osveshchenii* (Improvement cutting in a new light), Moscow, 1934, 224 p.
- Gavrikov V.L., *Rost lesa: urovni opisaniya i modelirovaniya* (Forest Growth: Levels of Description and Modeling), Krasnoyarsk: Sibirskii Federal'nyi Universitet, 2013, 176 p.
- Golikov A.M., *Ekologo-dissimmetricheskii podkhod v genetike i seleksii vidov khvoynykh* (Ecological-dissymmetric approach in genetics and selection of coniferous species), LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, 162 p.
- Golikov A.M., *Ekologo-dissimetrii i izofermentnyi analiz struktury model'nykh populyatsii sosny obyknovnoi* (Ecological-dissymmetry and isoenzyme analyses of the structure of model Scots pine populations), *Lesovedenie*, 2011, No. 5, pp. 46–51.
- Goryachev V.M., The effect of spatial distribution of trees in communities on the formation of annual tree rings in conifers of the Ural southern taiga forests, *Russian J. Ecology*, 1999, Vol. 30, No. 1, pp. 6–15.
- Grabarnik P.Y., Sekretenko O.P., *Analiz gorizontal'noi struktury drevostoev metodami sluchainykh tochechnykh polei* (Analysis of tree stand horizontal structure using random point field methods), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2015, No. 3, pp. 32–44.
- Ipatov V.S., Tarkhova T.N., *Kolichestvennyi analiz tsenoticheskikh effektov v razmeshchenii derev'ev po territorii* (Coenotic contribution to distribution patterns of trees: a quantitative study), *Botanicheskii zhurnal*, 1975, Vol. 60, No. 9, pp. 1237–1250.
- Karabaeva A.G., *Narrativ v nauke i obrazovanii* (Narrative in science and education), "Symposium", *Innovation and Education*, Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskoe filosofskoe obshchestvo, 2003, Vol. 29, Conf. Proc., pp. 89–96.
- Kolobov A.N., *Modelirovanie prostranstvenno-vremennoi dinamiki drevesnykh soobshchestv: individual'no-orientirovannyi podkhod* (Modeling of spatiotemporal dynamics of the wooden communities: individually aligned approach), *Lesovedenie*, 2014, No. 5, pp. 72–82.
- Kosterin O.E., *Darvinizm kak chastnyi sluchai "britvy Okkama"* (Darwinism as a particular case of "Okkam's razor"), *Vestnik VOGiS*, 2007, Vol. 11, No. 2, pp. 416–431.
- Kuz'michev V.V., *Zakonomernosti dinamiki drevostoev: printsipy i modeli* (Patterns in dynamics of forest stands: principles and models), Novosibirsk: Nauka, 2013, 207 p.
- Marchenko I.S., *Biopole lesnykh ekosistem* (Biofield of forest ecosystems), Bryansk: Tovarishestvo "Pridesen'e", 1995, 188 p.
- Martynov A.N., *Zavisimost' biometricheskikh pokazatelei sosny ot ploshchadi pitaniya* (Dependence of biometric indicators of pine on growing space), *Lesovedenie*, 1976, No. 5, pp. 85–88.
- Maslov E.L., *Formirovanie sosnovykh molodnyakov* (Development of pine young-growth), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 165 p.
- Maslov E.L., *Genesis i dinamika sotsial'nykh struktur sosny v faze individual'nogo rosta* (Genesis and dynamics of social structures of pine in the phase of individual growth), In: *Taizhnye lesa na poroge XXI v.* (Taiga forests on the threshold of the XXI century), St. Petersburg: Sankt-Peterburgskii nauchno-issledovatel'skii institut lesnogo khozyaistva, 1999, pp. 42–51.
- Merzlenko M.D., Babich N.A., *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* (Forest restoration: the science and the application), Arkhangel'sk: Izd-vo SAFU, 2011, 239 p.
- Nagimov Z.Y., *Zakonomernosti rosta i formirovaniya nadzemnoi fitomassy sosnovykh drevostoev. Avtoref. diss. d-ra s.-kh. nauk* (Regularities of growth and development of aboveground phytomass of pine forests. Extended abstract of Doctor's agric. sci. thesis), Yekaterinburg: UGLTA, 2000, 40 p.
- Plantatsionnoe lesovodstvo*, (Plantation forestry), St. Petersburg: Izd-vo Politekhnikeskogo universiteta, 2007, 366 p.
- Pravila ukhoda za lesami. Utverzhdeny prikazom Minprirody Rossii ot 22.11.2017 № 626.
- Prokop'ev M.N., *Kul'tury sosny v taezhnoi zone* (Pine cultures in the taiga zone), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981, 136 p.
- Razin G.S., *Dinamika somknutosti odnoryasnykh drevostoev* (Dynamics of density of single-storey stands), *Lesovedenie*, 1979, No. 1, pp. 23–25.
- Razin G.S., *Eskizy tablits khoda rosta drevostoev (sosny, eli, berezy i osiny) s polnotoi 1.0 po bonitetam* (Schemes of tables of the progress of growth of forest stands (pine, spruce, birch and aspen) with a completeness of 1.0 in terms of quality), In: *Osnovnye polozheniya organizatsii i razvitiya lesnogo khozyaistva Permskoi oblasti* (Basic provisions for the organization and development of forestry in the Perm region), Perm: Gosleskomitet SSSR, V/O "Lesproekt", 1977, pp. 437–455.
- Rogozin M.V., *Fantomy teorii rubok ukhoda* (Phantoms of theories of thinning forests), *Byulleten' nauki i praktiki*, 2017, No. 4 (17), pp. 48–55. doi:10.5281/zenodo.546284.
- Rogozin M.V., Razin G.S., *Razvitiye drevostoev. Modeli, zakony, gipotezy* (Development of forest stands. Models, laws, hypotheses), Raleigh: Lulu Press, 2015, 196 p.
- Rogozin M.V., *Struktura drevostoev: konkurentsia ili partnerstvo?* (The structure of the forest: competition or partnership?), Perm: PGNIU, 2019, 223 p., available at: <http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publikatsii/monografii-123123/rogozin-m-v-struktura-drevostoev-konkurentsia-ili-partnerstvo>
- Sannikov S.N., Sannikova N.S., *Les kak podzemno-somknutaya dendrosenoekosistema* (Forest as Underground-Closed Dendrocenoecosystem), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2014, No. 1, pp. 25–34.
- Senov S.N., *Itogi 60-letnikh nablyudenii za estestvennoi dinamiko lesa* (Results of 60 Years of observations of natural forest dynamics), St. Petersburg: Sankt-Peterburgskii nauchno-issledovatel'skii institut lesnogo khozyaistva, 1999, 98 p.
- Senov S.N., *Ukhod za lesom: ekologicheskie osnovy* (Forest Care: Ecological Basics), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 127 p.
- Storozhenko V.G., *Ustoichivye lesnye soobshchestva: teoriya i eksperiment* (Sustainable forest communities: theory and experiment), Moscow: Grif i K, 2007, 190 p.
- Terekhov G.G., Usol'tsev V.A., *Formirovanie, rost i bioproduktivnost' opytnykh kul'tur eli sibirskoi na Urale: Issledovanie sistemy svyazei i zakonomernostei* (Formation, growth and bioproductivity of experimental cultures of Siberian spruce in the Urals: Study of the system of relationships and patterns), Ekaterinburg: UrO RAN, 2008, 215 p.

Terekhov G.G., Usol'tsev V.A., Morfostruktura nasazhdenii i kornenasyshchennost' rizosfery kul'tur eli sibirskoi i vtorichnogo listvennogo drevostoya na Srednem Urale kak kharakteristika ikh konkurentnykh otnoshenii (Morpho-structure of plantations and root saturation of the rhizosphere of Siberian spruce and secondary deciduous forest stands in the Middle Urals as a characteristic of their competitive relations), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2010, Vol. XXVIII, No. 3–4, pp. 1–7

Tikhonova I.V., Chetyre opory k fundamentu sovremenno-go ustoichivogo lesovodstva (Four supports to the foundation of modern sustainable forestry), *Lesnye ekosistemy: sovremennye vyzovy, sostoyanie, produktivnost' i ustoichivost'* (Forest ecosystems: current challenges, state, productivity and sustainability), Gomel, Proc. of International Sci.-Pract. Conf., 13–15 November, 2020, Gomel: Institut lesa NAN Belarusi, pp. 97–101.

Tyabera A.P., Ploshchad' rosta dereva i ee opredelenie analiticheskim sposobom (The growth area of a tree and its determination in an analytical way), *Lesnoi zhurnal*, 1978, No. 2, pp. 12–16.

Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P., Akchurina G.A., Osmirko A.A., Kokh E.V., *Fitomassa derev'ev v konkurentnykh usloviyakh: issledovanie sistemnykh svyazei sredstvami informatsionnykh tekhnologii* (Phytomass of trees in competitive conditions: a study of systemic relationships by means of information technology), Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet, 2018, 526 p.

Usol'tsev V.A., *Produksionnye pokazateli i konkurentnye otnosheniya derev'ev. Issledovanie zavisimostei* (Production and competitive relations of trees: studying a system of regularities), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2013, 553 p.

Vais A.A., *Nauchnye osnovy otsenki gorizontal'noi struktury drevostoev dlya povysheniya ikh ustoichivosti i produktivnosti (na primere nasazhdenii Zapadnoi i Vostochnoi Sibiri). Avtoref. dis. d-ra s.-kh. nauk* (Scientific basis for assessing the horizontal structure of forest stands to increase their stability and productivity (case study of plantations in Western and Eastern Siberia). Extended abstract of Doctor's agric. sci. thesis), Krasnoyarsk, 2014, 33 p.

УДК 574.3+630*182(470.343)

ВЛИЯНИЕ КОЛОНИЙ СЕРОЙ ЦАПЛИ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ¹

© 2023 г. Ю. П. Демаков^{a, *}, Д. В. Тишин^b, И. П. Демитрова^a

^aПоволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, Йошкар-Ола, 424000 Россия

^bКазанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, Казань, 420008 Россия

*E-mail: YPDemakov@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.09.2021 г.

После доработки 15.03.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

Приведены данные по влиянию колоний серой цапли (*Ardea cinerea* L., 1758) на динамику параметров годичного кольца деревьев в сосняках искусственного происхождения. Показано, что начало колонизации насаждений серой цаплями можно довольно точно установить при анализе динамики параметров годичных колец деревьев, особенно ширины их позднего слоя и оптической плотности древесины (значения первого из этих параметров в контрольном насаждении ниже, а второго выше). Колонии серой цапли начинают появляться в сосняках уже с 10–12-летнего возраста, когда высота деревьев достигает 5–6 м, а диаметр ствола на высоте 1.3 м от поверхности почвы – всего 7–8 см. В первые 15–20 лет они оказывают положительное влияние на годичный прирост деревьев, особенно на ширину позднего слоя древесины и толщину клеточных стенок, но затем картина меняется на противоположную. Общее время пребывания колоний цапли на одном месте составляет около 35–40 лет, после чего они переселяются на новые места в связи с расстройством или же полной гибелью насаждений. Для снижения вероятности появления колоний серой цапли, которые во многих случаях оказывают отрицательное влияние на состояние лесных биогеоценозов, необходимо отказаться от создания вблизи водоемов чистых сосняков, отдавая предпочтение еловым, березовым, тополевым или же липово-дубовым насаждениям.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), радиальный прирост, оптическая плотность, динамика, серая цапля, влияние.

DOI: 10.31857/S0024114823030038, EDN: PSWKUO

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологий и методов управления качеством окружающей среды и развитием лесных биогеоценозов, в функционировании которых большую роль играют позвоночные животные, в том числе и птицы, оказывающие как положительное, так и негативное влияние на их состояние (Рахилин, 1970; Иноземцев, 1978; Кулаков, Крылов, 2018). Средообразующая деятельность птиц наиболее сильно проявляется в местах их массовых скоплений (Ардамацкая, 1967; Бреслина, Карпович, 1969; Семаго, 1975; Тараненко, 1975; Захаренко, Романов, 2009; Лысенков, 2016). Яркий пример – крупные гнездовые поселения серой цапли, где птицы привносят значительные массы органического вещества при строительстве гнёзд и особенно при выкармливании птенцов, оказывая очень большое влия-

ние на организацию и состояние заселенных ими биогеоценозов (Чугай, 1993; Недосекин, 2001, 2003), выступая в качестве своеобразных экосистемных “инженеров” (Jones et al., 1994; Wright, Jones, 2004). Исследователями показано, что колонии цапли приводят к формированию мощной лесной подстилки, затрудняющей прорастание семян и препятствующей процессу естественного лесовозобновления, изменяют структуру и химизм почв, а также населяющих их сообществ беспозвоночных. В итоге все это вызывает обеднение исходного состава фитоценозов и снижение проективного покрытия растениями вплоть до полного их исчезновения непосредственно под гнездами птиц. Длительное гнездование цапель на одних и тех же деревьях приводит к их усыханию, что вынуждает птиц перемещаться на новые участки. Воздействие цапель на биогеоценозы зависит от плотности населения птиц и длительности существования колоний, а также местных особенностей экотопов, что должно быть пред-

¹ Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).



Рис. 1. Снимки объекта исследований и гнёзд серой цапли на деревьях.

метод детального изучения, актуальность которого в современных условиях, когда человек активно преобразовывает ландшафты, вполне очевидна. Цель исследования заключается в выявлении особенностей динамики радиального прироста деревьев в местах гнездования серой цапли, образовавшихся в искусственно созданных сосновых насаждениях Марийского ополья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проведены в чистых сосновых насаждениях, созданных в 1973 г. на приовражных землях в бассейне реки Манаги, находящихся в центральной части Республики Марий Эл (рис. 1). Почва на опытном объекте, состоящем из нескольких участков, расположенных на разных берегах пруда и различающихся по составу древостоев, дерново-подзолистая суглинистая (Демаков и др., 2020). Поселение цапель, состоящее в настоящее время из 16–19 гнездящихся пар птиц, находится на правом берегу пруда в культурах сосны, примыкающих к пашне (координаты 56.748828° с.ш., 48.250289° в.д.). Текущая густота древостоя на участке составляет 1360 экз. га⁻¹, полнота — 1.18, средняя высота — 24 м, а средний диаметр — 21 см (Демаков и др., 2017). В качестве контроля выбрано аналогичное по параметрам сосновое насаждение, расположенное на противоположной стороне пруда, где поселения цапли отсутствуют.

На каждом из участков с помощью бурава Пресслера у 12 деревьев, диаметр которых в коре изменялся от 14 до 24 см, отбирали на высоте 1.3 м от поверхности почвы керны древесины и помещали их в специальные пеналы для сохранности при

транспортировке в лабораторию. Измерение ширины годичных колец проведено в лаборатории дендрохронологии Казанского федерального университета на полуавтоматической установке LINTAB-6 с точностью 0.01 мм стандартными методами дендрохронологии (Шиятов, 1973; Битвинская, 1974; Ваганов и др., 1996). В дополнении к традиционным показателям годичного слоя деревьев было проведено измерение его оптической плотности (blue intensity, BI), величина которой зависит, как показано исследователями (McCarroll et al., 2002; Campbell et al., 2011; Rydval et al., 2014; Björklund et al., 2014, 2015; Долгова, 2017; Fuentes et al., 2017; Овчинников и др., 2018), от толщины клеточных стенок колец и количества в них лигнина, отрицательно коррелируя с физической (реальной) плотностью древесины. Подготовка кернов к измерениям заключалась в экстракции смол 99%-ным этанолом с помощью аппарата Сокслета, где их выдерживали в течение примерно 72 ч. Затем керны высушивали до воздушно-сухого состояния (влажность 9–12%), наклеивали на специальную подложку, аккуратно подрезали на микротоме и шлифовали мелкой наждачной бумагой с размером зерна менее 1000 мкм. Далее проводили сканирование годичных колец с разрешением 2400 точек на дюйм на профессиональном планшетном сканере Epson. Измерения оптической плотности древесины проведены с помощью специализированных программ CooRecorder® и CDendro® (<http://www.cybis.se/forfun/dendro/>). Цифровой эмпирический материал обработан с использованием стандартных методов математической статистики (Лакин, 1990) и пакетов соответствующих прикладных программ.

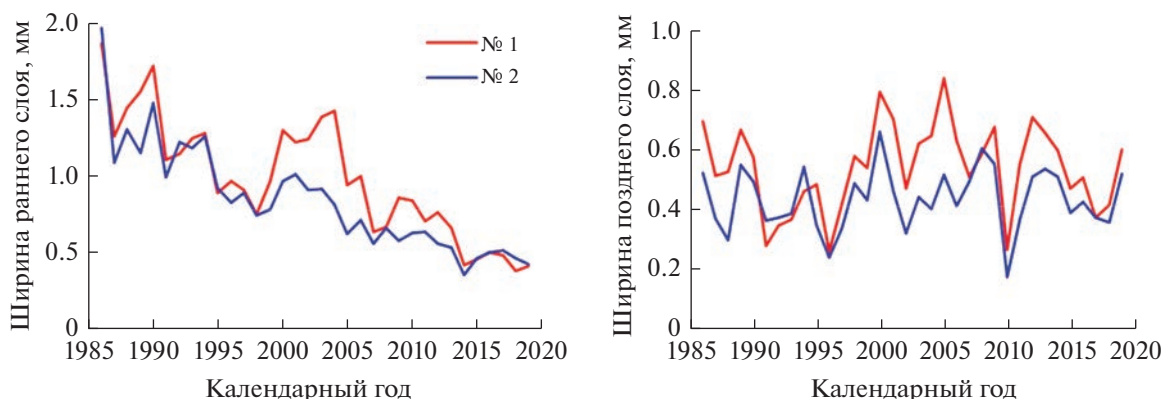


Рис. 2. Динамика ширины раннего и позднего слоев годичных колец деревьев в заселенном серой цапляй (№ 1) и контрольном (№ 2) сосновых насаждениях.

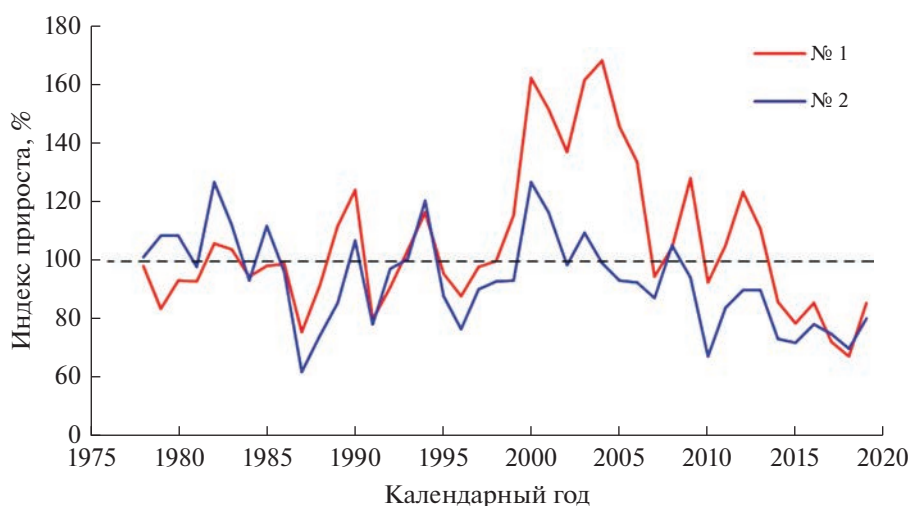


Рис. 3. Динамика индексов общего радиального годичного прироста деревьев в заселенной серой цапляй (№ 1) и контрольной (№ 2) сосновых насаждениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поселения серой цапли, которые птицы устраивали только на деревьях сосны, хотя на участке произрастает довольно много более крупных деревьев березы с раскидистыми кронами, а также менее крупных деревьев ели, появились на территории опытного объекта в 1985 году, что удалось установить довольно четко методом дендрохронологии. Возраст насаждений составлял в то время 12 лет, а высота деревьев достигала 5–6 м. Основной причиной образования колонии цапель явилось создание пруда, примыкающего к насаждению. Величина радиального годичного прироста деревьев на участке с колонией птиц начала с этого момента превышать аналогичные показатели контрольного насаждения (рис. 2 и 3, табл. 1). Наиболее значительные различия отмечались по

значениям оптической плотности древесины (рис. 4), свидетельствующие о том, что изменения происходили в основном за счет стенок клеток годичных колец, которые в контрольном насаждении тоньше и содержат меньшее количество лигнина. По толщине слоя ранней древесины наибольшие различия между экотопами отмечались в 2004 г., а поздней древесины – в 2005. После этого различия стали уменьшаться, постепенно полностью исчезая. Различия экотопов по значениям остальных параметров годичного слоя древесины проявлялись не столь четко, а по значениям же доли поздней древесины они практически отсутствовали.

Изменения значений каждого из параметров годичного слоя происходили в экотопах довольно синхронно ($r = 0.758–0.939$), что свидетельствует об однотипности древостоев, одинаково реагиру-

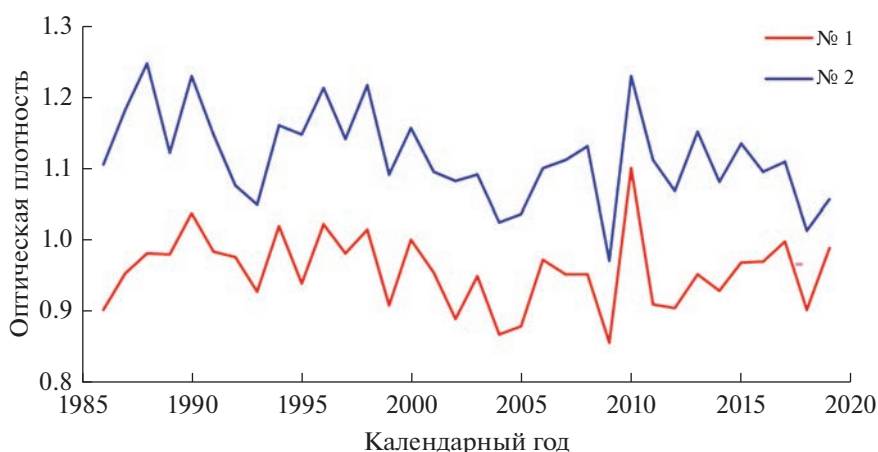


Рис. 4. Динамика оптической плотности годовичного слоя деревьев в заселенном серой цаплей (№ 1) и контрольном (№ 2) сосновых насаждениях.

Таблица 1. Разность параметров прироста деревьев сосны на объектах исследования с 1986 по 2015 гг.

Оцениваемый параметр	Значения статистических показателей*				
	$M \pm m$	min	max	S_x	CV, %
Общий годичный слой древесины, мм	0.33 ± 0.05	−0.01	0.85	0.23	68.6
Индекс годичного прироста, %	26.7 ± 4.1	−0.7	69.0	18.5	69.1
Слой ранней древесины, мм	0.20 ± 0.04	0.00	0.61	0.16	82.9
Слой поздней древесины, мм	0.13 ± 0.02	−0.02	0.32	0.08	63.4
Доля поздней древесины, %	0.92 ± 0.68	−4.82	7.26	3.04	331.9
Оптическая плотность, отн. ед.	0.16 ± 0.01	0.11	0.20	0.03	15.7

* Обозначения статистических параметров: $M \pm m$ — среднее арифметическое значение и его ошибка; min, max — минимальное и максимальное значения; S_x — среднеквадратическое отклонение; CV — коэффициент вариации значений.

Таблица 2. Корреляционная связь между разными параметрами прироста деревьев сосны на объектах исследования с 1986 по 2019 гг.

Оцениваемый параметр	Значение коэффициента корреляции между параметрами				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Участок с поселениями серой цапли					
1. Общий годичный слой древесины	1.00				
2. Индекс годичного прироста	0.63	1.00			
3. Слой ранней древесины	0.95	0.48	1.00		
4. Слой поздней древесины	0.49	0.64	0.19	1.00	
5. Доля поздней древесины	−0.55	−0.13	−0.77	0.43	1.00
6. Оптическая плотность	−0.13	−0.29	0.02	−0.45	−0.30
Участок без поселений серой цапли					
1. Общий годичный слой древесины	1.00				
2. Индекс годичного прироста	0.53	1.00			
3. Слой ранней древесины	0.96	0.39	1.00		
4. Слой поздней древесины	0.30	0.57	0.02	1.00	
5. Доля поздней древесины	−0.57	−0.08	−0.77	0.57	1.00
6. Оптическая плотность	0.23	−0.12	0.32	−0.27	−0.47

ющих на флуктуации метеорологических условий, являющихся в данном случае ведущим фактором их вариабельности. Менее сходными между собой оказались ряды абсолютной ширины позднего слоя древесины ($r = 0.758$), а наиболее же сопряженными — ряды значений его доли в годичном кольце ($r = 0.939$). Коэффициент корреляции между рядами значений оптической плотности древесины годичных колец составил 0.779. На засуху 2010 года древостои отреагировали одинаково, резко снизив прирост позднего слоя годичного кольца и толщину клеточных стенок, что привело к увеличению значений оптической плотности древесины. Изменения же значений разных параметров годичного слоя происходили в экотопах несинхронно (табл. 2), что свидетельствует об их разном информативном значении. Наиболее сходен ход значений общей ширины годичного кольца и слоя ранней древесины, динамика же значений оптической плотности древесины наименее сопряжена с динамикой значений всех остальных параметров годичного кольца ($r = -0.47-0.32$).

ВЫВОДЫ

1. Колонии серой цапли оказывают очень большое влияние на организацию и состояние заселенных ими лесных биогеоценозов, в том числе на динамику параметров структуры годичного кольца деревьев, постепенно приводя их к гибели, что вынуждает птиц перемещаться в новые места обитания.

2. Начало колонизации экотопов серой цаплей можно довольно точно установить при анализе динамики параметров структуры годичных колец деревьев, особенно ширины их позднего слоя и оптической плотности древесины. Значения первого из этих параметров в насаждениях, подвергшихся воздействию колоний цапли, выше по сравнению с контролем, а второго ниже.

3. Колонии серой цапли начинают появляться в 10–12-летних сосновых насаждениях, когда высота деревьев достигает 5–6 м, а диаметр ствола на высоте 1.3 м от поверхности почвы — всего 7–8 см.

4. В первые 15–20 лет колонии серой цапли оказывают положительное влияние на годичный прирост деревьев, особенно на ширину позднего слоя древесины и толщину клеточных стенок, но затем картина меняется на противоположную. Общее время пребывания колоний цапли на одном месте составляет около 35–40 лет.

5. Для снижения вероятности возникновения колоний серой цапли, которые во многих случаях оказывают отрицательное влияние на состояние лесных биогеоценозов, необходимо отказаться от

создания вблизи водоемов чистых сосновых древостоев, отдавая предпочтение еловым, березовым, тополевым или липово-дубовым насаждениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ардамацкая Т.Б. Влияние массовых колоний птиц на растительность и животное население о. Орлова // Структура и функционально-биогеоценотическая роль животного населения суши. М.: Наука, 1967. С. 113–114.
- Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- Бреслина И.П., Карпович В.Н. Развитие растительности под влиянием жизнедеятельности колониальных птиц // Ботанический журн. 1969. № 5. С. 690–696.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
- Демаков Ю.П., Нуреев Н.Б., Митякова И.И. Влияние характера хозяйственного использования приовражных земель на свойства почв // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 4(48). С. 77–95.
- Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г., Рыжков А.А. Эколого-ресурсный потенциал лесных насаждений на приовражно-балочных землях Среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 3(35). С. 73–87.
- Долгова Е.А. Связь с засушливостью ширины колец ранней и поздней древесины и оптической плотности колец сосны (на примере Калужской области) // Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2017. С. 208–222.
- Захаренко К.А., Романов В.В. О влиянии колониального поселения озерных чашек на особенности химического состава почв в условиях Владимирского ополья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6(110). С. 147–152.
- Иноземцев А.А. Роль насекомоядных птиц в лесных биогеоценозах. Л.: ЛГУ, 1978. 264 с.
- Кулаков Д.В., Крылов А.В. Влияние птиц на среду обитания // Природа. 2018. № 5(1233). С. 22–31.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
- Лысенков Е.В. Средообразующая роль врановых в антропогенных ландшафтах // Русский орнитологический журн. 2016. Т. 25. № 1371. С. 4643–4647.
- Недосекин А.А. Изменение химического состава почвы под влиянием колонии серых цапель // Актуальные проблемы экологии и природопользования. М.: РУДН, 2003. Вып. 3. С. 90–93.
- Недосекин А.А. Изменения в распределении растительного покрова под гнездами в колонии серых цапель в Тульских засеках // Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Север-

ной Азии. Казань: Изд-во Казанского университета, 2001. С. 467–468.

Овчинников Д.В., Ерёмкина А.Д., Овчинников С.Д., Кладько Ю.В. Потенциал оптической плотности древесины в дендроклиматологии // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования. Красноярск: КГУ, 2018. Вып. 13. С. 68–70.

Рахилин В.К. О средообразующей роли птиц фауны СССР // Средообразующая деятельность животных. М.: Наука, 1970. С. 15–18.

Семаго Л.Л. К вопросу о средообразующей деятельности колониальных и стайных птиц // Проблемы изучения и охраны ландшафтов. Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1975. С. 45–47.

Тараненко Л.И. Влияние колониального гнездования грачей на окружающую среду // Роль животных в функционировании экосистем. М.: Наука, 1975. С. 104–106.

Чугай С. Роль колоний серой цапли в функционировании экосистем пойменных черноольшанников // Птицы бассейна Северского Донца. Донецк: ДГУ, 1993. С. 50–52.

Шиятов С.Г. Дендрохронология, её принципы и методы // Записки Всесоюзного ботанического общества. Вып. 6. Проблемы ботаники на Урале. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. С. 53–81.

Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H.W. Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to improve summer temperature reconstructions with early-

wood information // *Climate of the Past*. 2014. V. 10. P. 877–885.

Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Zhang P., Fuentes M. Using adjusted Blue Intensity data to attain high quality summer temperature information: A case study from Central Scandinavia // *The Holocene*. 2015. V. 25. № 3. P. 547–556.

Campbell R., McCarroll D., Robertson I., Loader N.J., Grudd H., Gunnarson B.E. Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree rings: A manual for a new palaeoclimate proxy // *Tree-ring Research*. 2011. V. 67. P. 127–134.

Fuentes M., Salo R., Björklund J., Seftigen K., Zhang P., Gunnarson B. et al. 970-year-long summer temperature reconstruction from Rogen, west-central Sweden, based on blue intensity from tree rings // *The Holocene*. 2017. V. 28. № 2. P. 254–266.

Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers // *Oikos*. 1994. V. 69. P. 373–386.

McCarroll D., Pettigrew E., Luckman A., Guibal F., Edouard J.-L. Blue reflectance provides a surrogate for latewood density of high-latitude pine tree rings // *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2002. V. 34. № 4. P. 450–453.

Rydval M., Larsson L.A., McGlynn L., Gunnarson B.E., Loader N.J., Young G.H., Wilson R. Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland // *Dendrochronologia*. 2014. V. 32. № 3. P. 191–204.

Wright J.P., Jones C.G. Predicting effects of ecosystem engineers on patch-scale species richness from primary productivity // *Ecology*. 2004. V. 85. № 8. P. 2071–2081.

Grey Heron Colonies Affect the Radial Growth of Trees in Pine Plantations

Yu. P. Demakov^{1, *}, D. V. Tishin², and I. P. Demitrov¹

¹Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola, the Republic of Mari El, 424000 Russia

²Kazan Federal University, Kremlyovskaya st., 18, Kazan, 420008 Russia

*E-mail: YPDemakov@yandex.ru

Data on the influence the grey heron (*Ardea cinerea* L., 1758) colonies have on the dynamics of tree ring parameters in pine plantations are presented. It is shown that the beginning of the stands colonisation by the grey heron can be quite accurately determined by analysing the dynamics of the annual tree rings parameters, especially the width of their late layer and the optical density of wood (the values of the former are lower in the control stand, and of the latter one are higher there). Grey heron colonies begin to appear in pine forests since as early as 10–12 years old, when the height of the trees reaches 5–6 m, and the diameter of the trunk at a height of 1.3 m from the soil surface is only 7–8 cm. In the first 15–20 years, they have a positive influence on the annual growth of trees, especially on the width of the late layer of wood and the thickness of the cell walls, but then the picture changes to the opposite. The total residence time of heron colonies in one place is about 35–40 years, after which they move to new places due to the forest stands coming into disarray or even facing complete destruction. To reduce the likelihood of the grey heron colonies appearance, which in many cases have a negative impact on the state of forest biogeocoenoses, it is necessary to stop creating pure pine forests near water bodies, giving preference to spruce, birch, poplar or linden-oak plantations.

Keywords: Scots pine, radial growth, optical density, dynamics, grey heron, influence.

Acknowledgements: The work has been carried out within the framework of the Strategic Academic Leadership programme of the Kazan Federal University (PRIORITET-2030).

REFERENCES

- Ardamatskaya T.B., Vliyanie massovykh kolonii ptits na rastitel'nost' i zhivotnoe naselenie o. Orlova (The influence of mass bird colonies on the vegetation and animal population of the Orlov island), In: *Struktura i funktsional'no-biogeotsenoticheskaya rol' zhivotnogo naseleniya sushy* (Structure and functional and biogeocenotic role of the animal population of the land), Moscow: Nauka, 1967, pp. 113–114.
- Bitvinskas T.T., *Dendroklimaticheskie issledovaniya* (Dendroclimatic studies), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 172 p.
- Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Zhang P., Fuentes M., Using adjusted Blue Intensity data to attain high quality summer temperature information: A case study from Central Scandinavia, *The Holocene*, 2015, Vol. 25, No. 3, pp. 547–556.
- Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H.W., Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to improve summer temperature reconstructions with earlywood information, *Climate of the Past*, 2014, Vol. 10, pp. 877–885.
- Breslina I.P., Karpovich V.N., Razvitie rastitel'nosti pod vliyaniem zhiznedeyatel'nosti kolonial'nykh ptits, *Botanicheskii zhurnal*, 1969, No. 5, pp. 690–696.
- Campbell R., McCarroll D., Robertson I., Loader N.J., Grudd H., Gunnarson B.E., Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree rings: A manual for a new palaeoclimate proxy, *Tree-ring Research*, 2011, Vol. 67, pp. 127–134.
- Chugai S., Rol' kolonii seroi tsapli v funktsionirovanii ekosistem poimennykh chernool'shannikov (The role of gray heron colonies in the functioning of ecosystems of floodplain black alder forests), In: *Ptitsy basseina Severskogo Donetsa* (Birds of the Seversky Donets basin), Donetsk: DGU, 1993, pp. 50–52.
- Demakov Y.P., Nureev N.B., Mityakova I.I., Vliyanie kharaktera khozyaistvennogo ispol'zovaniya priovrazhnykh zemel' na svoystva pochv (The effect of land-use regime in the near the ravine lands on soil properties), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2020, No. 4(48), pp. 77–95.
- Demakov Y.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G., Ryzhkov A.A., Ekologo-resursnyi potentsial lesnykh nasazhdenii na priovrazhno-balochnykh zemlyakh Srednego Povolzh'ya (Environmental and resource capacity of forest plantations on ravine gully lands in the Middle Volga region), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2017, No. 3(35), pp. 73–78.
- Dolgova E.A., Svyaz' s zasushlivost'yu shiriny kolets rannei i pozdnei drevesiny i opticheskoi plotnosti kolets sosny (na primere Kaluzhskoi oblasti) (Drought signal in multiple tree-ring parameters from Kaluga region), In: *Zasukhi Vostochno-Evropeiskoi ravniny po gidrometeorologicheskim i dendrokhnologicheskim dannym* (Droughts of the East European plain according to hydrometeorological and tree-ring data), Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017, pp. 208–222.
- Fuentes M., Salo R., Björklund J., Seftigen K., Zhang P., Gunnarson B. et al., 970-year-long summer temperature reconstruction from Rogen, west-central Sweden, based on blue intensity from tree rings, *The Holocene*, 2017, Vol. 28, No. 2, pp. 254–266.
- Inozemtsev A.A., *Rol' nasekomoyadnykh ptits v lesnykh biogeotsenozakh* (The role of insectivorous birds in forest biogeocenoses), Leningrad: LGU, 1978, 264 p.
- Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M., Organisms as ecosystem engineers, *Oikos*, 1994, Vol. 69, pp. 373–386.
- Kulakov D.V., Krylov A.V., Vliyanie ptits na sredu obitaniya (Environmental role of birds), *Priroda*, 2018, No. 5(1233), pp. 22–31.
- Lakin G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1990, 351 p.
- Lysenkov E.V., Sredoobrazuyushchaya rol' vranovykh v antropogennykh landshaftakh (Environment-forming role of corvids in anthropogenic landscapes), *Russkii ornitologicheskii zhurnal*, 2016, Vol. 25, No. 1371, pp. 4643–4647.
- McCarroll D., Pettigrew E., Luckman A., Guibal F., Edouard J.-L., Blue reflectance provides a surrogate for latewood density of high-latitude pine tree rings, *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 2002, Vol. 34, No. 4, pp. 450–453.
- Nedosekin A.A., Izmenenie khimicheskogo sostava pochvy pod vliyaniem kolonii serykh tsapel' (Changes in the chemical composition of the soil under the influence of a colony of gray herons), In: *Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya* (Modern issues of ecology and nature management), Moscow: RUDN, 2003, Vol. 3, pp. 90–93.
- Nedosekin A.A., Izmeneniya v raspredelenii rastitel'nogo pokrova pod gnezdami v kolonii serykh tsapel' v Tul'skikh zasekakh (Changes in the distribution of vegetation cover under the nests in the colony of gray herons in the Tula Zasek), In: *Aktual'nye problemy izucheniya i okhrany ptits Vostochnoi Evropy i Severnoi Azii* (Actual issues of studying and protecting birds in Eastern Europe and North Asia), Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 2001, pp. 467–468.
- Ovchinnikov D.V., Eremina A.D., Ovchinnikov S.D., Klad'ko Y.V., Potentsial opticheskoi plotnosti drevesiny v dendroklimatologii (Potential of blue intensity of wood in dendroclimatology), In: *Geografiya i geoekologiya na sluzhbe nauki i innovatsionnogo obrazovaniya* (Geography and geoeology in the service of science and innovative education), Krasnoyarsk: KGU, 2018, Vol. 13, pp. 68–70.
- Rakhilin V.K., O sredoobrazuyushchei roli ptits fauny SSSR (On the environment-forming role of birds in the fauna of the USSR), In: *Sredoobrazuyushchaya deyatel'nost' zhivotnykh* (Environment-forming activity of animals), Moscow: Nauka, 1970, pp. 15–18.
- Rydval M., Larsson L.A., McGlynn L., Gunnarson B.E., Loader N.J., Young G.H., Wilson R., Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland, *Dendrochronologia*, 2014, Vol. 32, No. 3, pp. 191–204.
- Semago L.L., K voprosu o sredoobrazuyushchei deyatel'nosti kolonial'nykh i stainykh ptits (On the issue of the environment-forming activity of colonial and flocking

birds), In: *Problemy izucheniya i okhrany landshaftov* (Issues of studying and protecting landscapes), Voronezh: Voronezhskoe kn. izd-vo, 1975, Vol. 45–47.

Shiyatov S.G., Dendrokronologiya, ee printsipy i metody (Dendrochronology, its principles and methods), In: *Zapiski Vsesoyuznogo botanicheskogo obshchestva* (Notes of the All-Union Botanical Society), Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1973, Vol. 6, Issues of botany in the Urals, pp. 53–81.

Taranenko L.I., Vliyanie kolonial'nogo gnezdovaniya grachei na okruzhayushchuyu sredu (The impact of colonial nesting of rooks on the environment), In: *Rol' zhivotnykh v funktsionirovanii ekosistem* (The role of animals in the functioning of ecosystems), Moscow: Nauka, 1975, pp. 104–106.

Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S., *Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoi Subarktike* (Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian subarctic zone), Novosibirsk: Nauka, 1996, 244 p.

Wright J.P., Jones C.G., Predicting effects of ecosystem engineers on patch-scale species richness from primary productivity, *Ecology*, 2004, Vol. 85, No. 8, pp. 2071–2081.

Zakharenko K.A., Romanov V.V., O vliyani kolonial'nogo poseleniya ozernykh chaek na osobennosti khimicheskogo sostava pochv v usloviyakh Vladimirskego opol'ya (On the Influence of the Colonial Settlement of Black-headed Gulls on the Features of the Chemical Composition of Soils in the Conditions of the Vladimir Opolye), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, No. 6(110), pp. 147–152.

УДК 581.5:[630*135.8+712.4]/(571.63)

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ВИДОВ В ГОРОДСКОМ ОЗЕЛЕНЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИВОСТОКА

© 2023 г. Н. С. Шихова*

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
проспект 100-летия Владивостока, д. 159, Владивосток, 690022 Россия

*E-mail: shikhova@biosoil.ru

Поступила в редакцию 23.04.2021 г.

После доработки 01.03.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

В статье обсуждаются результаты комплексного анализа экологического состояния и средостабилизирующих функций видового состава арборифлоры в структуре городского озеленения. В основу работы положен большой фактический материал, полученный в ходе многолетнего мониторинга зеленых насаждений г. Владивостока. Разработано методическое обеспечение качественно-количественной оценки видов с использованием методов прикладной квалитметрии. В качестве единицы оценки предложен интегральный показатель — коэффициент функциональной эффективности вида (КФЭВ) в озеленении. Он представляет собой относительно-количественный показатель качества, определяемый по совокупности ряда эколого-биологических и санитарно-гигиенических свойств растений: распространенности в озеленении, жизненного статуса, способности к аккумуляции приоритетных металлов-загрязнителей в городской среде, их концентрации относительно локального экологического фона, интенсивности накопления металлов из почвы. На основе предложенного коэффициента выполнен сравнительный анализ функциональной эффективности 80 видов деревьев и кустарников, формирующих городские насаждения Владивостока. В сравнимой выборке растений КФЭВ снижается от 3.70 у боярышника перистонадрезанного (*Crataegus pinnatifida*) до 1.13 у яблони маньчжурской (*Malus mandshurica*). Эти показатели соответствуют 74 и 23% принятого стандарта качества (СК) видов. Выделены группы видов разной функциональной значимости в городском озеленении. Наибольшую эффективность в создании комфортных для проживания горожан условий среды показали виды широкого распространения в зеленых насаждениях: ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*), вяз японский (*Ulmus japonica*), берёза плосколистная (*Betula platyphylla*), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia*) и др. Для них характерно как максимальное участие в формировании структуры городского озеленения, так и высокая способность к поглощению основных металлов-загрязнителей городской среды. КФЭВ этих видов находится в пределах 3.26–2.61, что соответствует 65–52% СК. В заключении даны предложения по рациональному использованию видов в формировании комфортной городской среды и внедрению полученных результатов в практику управления городским зеленым фондом.

Ключевые слова: городское озеленение, городские зеленые насаждения, арборифлора, комплексная оценка, экологические функции растений, функциональная эффективность растений, качество объектов озеленения, методы прикладной квалитметрии.

DOI: 10.31857/S0024114823030105, EDN: PXCGHW

Возрастающая численность мегаполисов и урбанизированных территорий, рост городского населения стимулирует научный и практический интерес к вопросам рациональной организации городского пространства, в том числе городского жилищного строительства и общественного озеленения, призванного обеспечивать оптимальные условия проживания населения. Это вполне закономерно, так как зеленые насаждения городов являются основным средостабилизирующим фактором, формирующим оптимальные каче-

ственные условия городской среды, эстетичные и комфортные для проживания человека. Со временем изменяются и приоритеты подобных исследований. В конце 20–начале 21 столетий максимальное внимание ученых-урбанистов было обращено на количественную и качественную оценку биоты и почв городских территорий, способность биогенных компонентов к трансформации загрязняющих веществ, их устойчивость в условиях экологического неблагополучия, а также поиск адекватных индикаторов состояния го-

родской среды. В настоящее время отмечается возрастающий научный интерес к комплексному анализу городских зеленых территорий или “открытых зеленых пространств” по терминологии ряда зарубежных ученых, поиску путей повышения социально-экологической ценности зеленых насаждений (Jankevica, 2012; Niemelä, 2014; Aliman et al., 2017). Возникла необходимость многомерной оценки зеленых насаждений и междисциплинарных исследований общих проблем городских озелененных территорий (James et al., 2009; Daniels et al., 2018). Наблюдается постоянное совершенствование методов экономической оценки экосистемных функций и услуг зеленых насаждений для городских территорий, а также планирования городского пространства и управления им на основе комплексного экологического, эстетического и социального подхода (Ridder et al., 2004; Ives et al., 2014; Dennis, James, 2016). В то же время база доступных литературных источников свидетельствует об отсутствии в настоящее время единых методических подходов при комплексной оценке объектов городского озеленения. В работах отечественных (Уфимцева, Терехина, 2005; Авдеева с соавт., 2008, 2015а, 2015б; Федорова, 2011; Скачкова, Копалина, 2018; Шихова, 2019) и ряда зарубежных (Jankevica, 2012; Ives et al., 2014; и др.) авторов представлен широкий спектр экспертных оценок качества, комфортности, ценности объектов городского озеленения и авторских методических обеспечений этих исследований. Обращает на себя внимание также тот факт, что в большинстве случаев объектами экспертиз являются либо целостные структурные единицы городского озеленения (парки, скверы, сады и др.) (Daniels et al., 2018), либо “открытые зеленые пространства” (Jankevica, 2012; Aliman et al., 2017; Ives et al., 2014; и др.). Гораздо реже методики качественной оценки объектов озеленения основываются на показателях состояния основных структурных единиц зеленых насаждений и озелененных территорий — деревьев, кустарников, травяного покрова, почвы или включают их (Уфимцева, Терехина, 2005; Федорова, 2011; Шихова, 2019).

Выполненные нами ранее исследования по оценке состояния растительности и почв г. Владивостока показали высокую значимость и актуальность проблем рационализации его городского зеленого хозяйства и строительства, а также совершенствования системы территориальной планировки для более комфортного проживания населения. Так, проведенное экологическое зонирование городских зеленых насаждений показало, что 65% их площади соответствуют удовлетворительным, 10% — плохим и лишь 25% — хорошим условиям для роста и развития древесных насаждений. К тому же при достаточно высоком разнообразии арборифлоры (115 видов деревьев, кустарников и деревянистых лиан), формирую-

щей городские насаждения, широкое распространение и высокое обилие в озеленении имеют лишь 6–7 видов. Диагностика жизненного состояния растений позволила установить разной степени ослабление жизнеспособности у большинства ассортимента списка видов (Шихова, Полякова, 2006). Это, по нашему мнению, во многом обусловлено тем, что городская растительность сильно подвержена загрязнению тяжелыми металлами, преимущественно Pb, Ni, Zn, Cu, Fe, содержание которых от 1.5 (Ni) до 4 (Fe) раз превышает фоновые уровни (Шихова, 2015). Исследования лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский позволили установить высокую эколого-геохимическую специализацию дальневосточной арборифлоры и выполнить её межвидовую дифференциацию по интенсивности накопления тяжелых металлов в природных локально-фоновых условиях (Шихова, 2015, 2017).

Целью настоящей работы являлись комплексный анализ функциональной и экологической эффективности арборифлоры, формирующей городские зеленые насаждения, и методическое обеспечение интегральной оценки качества её видового состава для повышения комфортности городской среды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

В основу работы положен имеющийся фактический материал, полученный нами ранее в результате многолетнего мониторинга растительности и почв озелененных территорий г. Владивостока (Шихова, Полякова, 2006; Шихова, 2013 и др.). Он включает результаты обследования растительности всех городских парков и садов, большинства скверов, 44 аллей, бульваров и рядовых посадок вдоль основных транспортных магистралей города. Исследованиями разной степени детальности были охвачены также объекты внутриквартального озеленения во всех жилых микрорайонах города и 6 внутригородских рекреационных лесов. В ходе мониторинга было заложено 175 пробных площадей (500 м²) и 650 маршрутных учетных площадок для дополнительного ленточного обследования насаждений, выполнена диагностика возрастного и жизненного состояния более 20 тысяч особей деревьев и кустарников, отобрано и проанализировано на содержание тяжелых металлов около 650 проб растений и 300 проб почв. Были использованы также результаты комплексных исследований лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский, как локального экологического фона (ЛЭФ) для городских зеленых насаждений (Шихова, 2015, 2017). Непосредственным объектом настоящей работы служил видовой состав арборифлоры, формирующей озеленение г. Владивостока. Сравнимая выборка включает 80 видов деревьев и кустарников, в том числе 66 аборигенных видов и 14 адвен-

тивных видов, введенных в культуру. Для оценки их качественного состояния и функциональной значимости в городских насаждениях нами был введен “коэффициент функциональной эффективности вида” (КФЭВ) в озеленении. Он представляет собой интегральный относительно-количественный показатель качества, определяемый по совокупности эколого-биологических и санитарно-гигиенических функциональных свойств растений. Расчет КФЭВ был выполнен с использованием некоторых приемов и методов прикладной квалитрии (Азгальдов и др., 1968; Азгальдов, Райхман, 1973). Судя по доступным литературным источникам, квалитрия, разрабатывающая теоретические основы и методологию комплексной оценки качества объектов, постепенно внедряется и в биологические исследования. Так, отдельные приемы и методы квалитрии были успешно использованы рядом ученых при оценке состояния и качества городских зеленых насаждений (Уфимцева, Терехина, 2005; Авдеева и др., 2008, 2015; Федорова, 2011; Скачкова, Копалина, 2018; Шихова, 2019).

Квалитрический подход предполагает все оцениваемые свойства объекта (в данном случае — вида), измеряемые в разных по размаху и размерности абсолютных величинах, переводить в относительные безразмерные показатели (K_i), отражающие степень приближения абсолютного показателя свойства Q_i к эталонному, в наших исследованиях — к оптимальному, высоко функционально эффективному для городских условий $Q_i^{\text{эф}}$.

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_i^{\text{эф}}},$$

где Q_i — качественный показатель, выраженный в абсолютных единицах измерения; $Q_i^{\text{эф}}$ — соответствующее эффективное значение показателя вида.

На основе полученных качественных свойств видов рассчитывались их коэффициенты функциональной эффективности по формуле:

$$\text{КФЭВ} = \sum_{i=1}^n K_i,$$

где K_i — качественные показатели ($i = 1, n$; n — количество учитываемых показателей).

Количество учитываемых показателей (свойств) объектов качественной оценки может быть различным. В наших исследованиях функциональная эффективность видов в городских насаждениях оценивалась по совокупности 5-ти следующих показателей качества: распространенности в озеленении (K_1), жизненному статусу (K_2), способности к аккумуляции приоритетных металлов-загрязнителей в городской среде (K_3) и их концентрации относительно ЛЭФ (K_4), накоплению метал-

лов из почвы (K_5). Весомость учитываемых показателей при интегральной оценке качества видов была принята условно равнозначной. Качественно-количественный “эталон функциональной эффективности” (ЭФЭ) каждого показателя соответствовал 1 условной единице (100% качества).

Распространенность, или количественное участие видов в озеленении, оценивалась по величине абсолютной встречаемости. Она рассчитывается как отношение учетных площадей с присутствием вида к общему количеству обследованных площадей, выраженное в процентах. Согласно выполненным ранее исследованиям (Шихова, Полякова, 2006), абсолютная встречаемость видов в городских насаждениях Владивостока варьирует от 58.6% до 0.3%. В зависимости от участия в насаждениях были выделены 3 группы видов: широкого распространения (абсолютная встречаемость $>25\%$) — 6 видов, умеренного распространения (5–25%) — 33 вида, редко встречающиеся ($<5\%$) — 41 вид. За эталон функциональной эффективности показателя распространенности видов в озеленении (K_1) была принята средняя встречаемость в группе видов широкого распространения — 35%.

Оценка показателя качества K_2 выполнена на основе полученных ранее данных диагностики виталитетного статуса городской арборифлоры Владивостока (Шихова, Полякова, 2003, 2006). При этом жизненное состояние видов, отражающее ответную реакцию растений на комплексное воздействие факторов среды, определяли в соответствии с методическими разработками В.А. Алексеева (1989), согласно которым выделяются 5 категорий состояния (КС) древесных пород и кустарников: виды здоровые (КС I — жизненное состояние 80–100%), слабо (КС II — 50–79%) и сильно поврежденные (КС III — 20–49%), усыхающие (КС IV — $<20\%$), сухостой (КС V — 0%). Средний индекс жизненного состояния для каждого вида рассчитывался по формуле:

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 10n_4 + 5n_5}{N},$$

где L_n — относительное жизненное состояние городской популяции вида, n_1 — число здоровых, n_2 — незначительно поврежденных, n_3 — сильно поврежденных, n_4 — отмирающих особей, n_5 — сухостоя; N — общее число особей вида.

Количественное значение жизненного статуса 80%, отвечающее нижнему пределу жизненности для категории здоровых растений, было принято в работе за эталонный стандарт показателя качества K_2 . Он соответствует 1.00 (100% качества).

Для расчета показателя качества K_3 , характеризующего аккумулятивные способности сравниваемых видов растений к приоритетным металлам-загрязнителям городской среды, использовал-

ся коэффициент относительной интенсивности накопления металлов — ОИН. Он представляет собой отношение содержания металла в опытном растении к принятому в исследованиях стандарту, в данном случае — в том или ином виде к их высокоэффективному содержанию в общей выборке городской арборифлоры, и выражается в относительных единицах (отн. ед.). Определение показателя K_3 было выполнено на основе полученных ранее аналитических данных по содержанию тяжелых металлов в листьях проанализированной выборки растений (Шихова, 2013, 2015). При его расчете сначала были определены статистически достоверные максимально высокие концентрации металлов-загрязнителей городской растительности в абсолютных единицах, которые составили для Fe — 1430 мг/кг, Zn — 204 мг/кг, Pb — 25.7 мг/кг, Cu — 13.9 мг/кг, Ni — 4.6 мг/кг. Затем, в соответствии с этими значениями, были рассчитаны коэффициенты ОИН металлов и их суммарные величины для каждого вида сравниваемой выборки арборифлоры в относительных единицах. Суммарное значение коэффициента ОИН основных металлов-загрязнителей городской растительности Владивостока служило качественной оценкой свойства видов к аккумуляции тяжелых металлов в условиях урбоэкосистем. При этом, если допустить, что существует некий идеальный вид, способный максимально накопить все 5 металлов-загрязнителей, то суммарное значение ОИН у него должно составить 5.00 отн. ед. Эта величина принята за ЭФЭ показателя K_3 и соответствует 1.00 (100% качества).

Способность растений к экологической оптимизации городской среды оценивалась также по коэффициенту концентрации (Кк). Он характеризует превышение содержания загрязняющих веществ в растениях, подверженных техногенному прессу, над экологическим фоновым уровнем. В данном случае — в городской арборифлоре Владивостока относительно природной лесной растительности полуострова Муравьев-Амурский. Общее накопление металлов-загрязнителей рассчитывается при этом с использованием коэффициента суммарного накопления металлов (Z_c) по формуле:

$Z_c = \sum K_k - (n - 1)$ (Сае, 1982), где K_k — коэффициенты концентрации элементов >1 , n — число накапливаемых элементов.

При расчете Z_c учитывались лишь те металлы, у которых $K_k \geq 1.2$. В исследованиях этому условию соответствовали 5 основных металлов-загрязнителей городской растительности — Fe, Zn, Pb, Cu, Ni. Справедливости ради следует заметить, что для его расчета идеальным условием было бы сравнить популяции одноименных видов в городских и природных фоновых местообитаниях. Однако из 66 видов аборигенной флоры, формирующей городские насаждения Владивостока,

такое сравнение оказалось возможным лишь для 50 видов, к тому же выборки некоторых из них были весьма малочисленны и статистически недостоверны. Следует учитывать и тот факт, что в составе городской арборифлоры насчитывается 14 инорайонных видов. В связи с этим вычисление коэффициента концентрации (Кк) сравниваемого списка видов было выполнено на основе установленных нами ранее локально-фоновых содержаний металлов в древесно-кустарниковой растительности природных лесных экосистем (Шихова, 2015, 2017). После статистической обработки полученных данных и исключения артефактов было установлено эталонное значение четвертого показателя качества видов (K_4) — 25.3. Оно соответствует 1.00 или 100% ЭФЭ данного показателя.

Оценка интенсивности накопления растениями металлов из почвы (показатель качества K_5) выполнена с помощью коэффициента биологического накопления (КБН), который представляет собой отношение содержания химического элемента в растении к его содержанию в почве. Он был рассчитан на основе полученных нами ранее данных по содержанию металлов в почвах и растениях городских озелененных территорий (Шихова, 2013). В наших исследованиях сумма максимальных значений КБН пяти металлов, включая артефакты, составила 2.55. Эта относительная количественная величина принята за ЭФЭ показателя качества K_5 и соответствует 1.00 (100% качества).

Статистическая обработка аналитических данных осуществлена с использованием стандартных программ Microsoft Excel и Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количественное участие видового состава деревьев и кустарников в городском озеленении варьирует от 0.3% (ель (*Picea* sp.)) до 58.6% (ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)) абсолютной встречаемости. Группа наибольшего распространения представлена следующими видами: ясенем маньчжурским, ясенем носолистным (*F. rhynchophylla* Hance), вязом японским (*Ulmus japonica* (Rehd.) Mayr), березой плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.), робинией псевдоакацией (*Robinia pseudoacacia* L.) и пузыреплодником калинолистным (*Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim.). К этой группе был отнесен нами дополнительно еще один вид — черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.). Черемуха Маака занимает по встречаемости в озеленении пограничное положение между 3 и 2 группами распространенности растений, но по остальным качественным по-

казателям более тяготеет к группе широкого распространения.

Показатель качества K_1 изменяется в сравняваемой выборке растений от 0.01 до 1.67, что соответствует 1 и 167% принятого ЭФЭ. Среднее статистическое значение составляет 0.23 ± 0.03 , коэффициент вариации максимальный среди учитываемых показателей качества — 126%. По мере снижения количественного участия видов в озеленении показатель K_1 постепенно убывает в группе широкого распространения от 1.67 у ясеня маньчжурского до 0.66 у черемухи Маака, в группе умеренного распространения — от 0.54 у тополя корейского (*Populus koreana* Rehd.) до 0.14 у бересклета Маака (*Euonymus maackii* Rupr.), в группе редко встречающихся видов — от 0.10 у сирени Вольфа (*Syringa wolfii* C.K.Schneid.) до 0.01 у ели.

Согласно проведенной ранее диагностике жизненного состояния растений (Шихова, Полякова, 2003, 2006), виталитетный статус абсолютного большинства сравниваемой выборки видов отвечал категориям слабо (27 видов) и сильно (51 вид) поврежденных растений и снижался от 65% у бересклета большекрылого (*Euonymus macroptera* Rupr.) до 23% у ели. Более устойчивыми к городскому антропогенно-техногенному прессу показали себя ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.), ясень носолистный, ясень маньчжурский, робиния псевдоакация, сирень широколистная (*Syringa oblata* Lindl.), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia*), свидина белая (*Swida alba* (L.) Opiz). Виталитет доминанта городских древесных пород ясеня маньчжурского составлял 49%, кустарниковых насаждений пузыреплодника калинолистного — 61%. Лишь два редко встречающиеся в озеленении вида — бузина кистевидная (*Sambucus racemosa* L.) и бересклет малоцветковый (*Euonymus pauciflora* Maxim.) отличались хорошим жизненным состоянием (80%) и соответствовали категории здоровых растений.

Показатель качества K_2 , согласно выполненным расчетам, варьирует в сравниваемой выборке видов от 0.29 до 1.00, что равнозначно 29 и 100% качества. Его среднестатистическое значение составляет 0.58 ± 0.01 , коэффициент вариации — 20%. В группе видов, отвечающих категории здоровых растений, K_2 соответствует 1.00. У видов со средним жизненным статусом он постепенно снижается от 0.81 у бересклета большекрылого до 0.63 у липы маньчжурской (*Tilia mandshurica* Rupr.), сильного ослабления виталитета — от 0.60 у ясеня маньчжурского до 0.29 у ели.

Показатель K_3 , с одной стороны, позволяет оценить эффективность видов в экологической оптимизации городской среды, с другой — определить их видовую специализацию в способности аккумулировать металлы-загрязнители среды в условиях техногенеза. Среди сравнивае-

мой выборки видов K_3 варьируют от 0.23 у клена зеленокорого (*Acer tegmentosum* Maxim.) до 1.20 у боярышника перистонадрезанного. Среднее содержание показателя — 0.49 ± 0.02 , коэффициент вариации — 31%. Максимальная величина показателя K_3 , зафиксированная у боярышника перистонадрезанного, формируется за счет гипераккумуляции им Fe (ОИН = 2.08), Cu (ОИН = 1.29) и высокого накопления Pb (ОИН = 1.00). Хорошие аккумулятивные способности к приоритетным загрязнителям городской среды отмечены также у тополя черного (*Populus nigra* L.) ($K_3 = 0.85$), тополя Максимовича (*P. maximowiczii* A. Henry) ($K_3 = 0.73$), лещины разнолистной (*Corylus heterophylla* Fisch. et Trautv.) ($K_3 = 0.74$), бересклета Маака (*Euonymus maackii*) ($K_3 = 0.71$). Обращает на себя внимание тот факт, что все виды тополя (*Populus* L.) гиперактивно накапливают Zn (ОИН = 0.97–2.15), тополь черный к тому же — Ni (ОИН = 1.00). Лещина разнолистная отличается высоким содержанием Pb и Fe (ОИН = 0.95), в меньшей степени — Cu (ОИН = 0.79), а бересклет Маака — Cu, Ni и Pb (ОИН = 0.81–0.91). Слабое накопление металлов, в 1.5–2.0 раза ниже среднего для общей выборки видов, наряду с кленом зеленокорым, отмечено также у мелкоплодника ольхолистного (*Micromeles alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne), спиреи иволистной (*Spiraea salicifolia* L.), ясеня пенсильванского, конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), граба сердцелистного (*Carpinus cordata* Blume). Показатель K_3 у них не превышает 0.33.

Качественный показатель K_4 , характеризующий способность растений концентрировать металлы в урбанизированной среде относительно фоновых уровней, весьма наглядно иллюстрирует санитарно-гигиеническую функцию растений по созданию комфортных городских условий для проживания населения. Его среднее содержание в сравниваемой выборке видов составляет 0.34 ± 0.02 и варьирует в пределах от 0.10 у ясеня пенсильванского до 1.47 у боярышника перистонадрезанного. Коэффициент вариации равен 61%. Низкая функциональная эффективность ясеня пенсильванского по концентрационным способностям к приоритетным загрязнителям городской растительности объясняется его слабым накоплением большинства металлов. Содержание Zn в листьях ясеня близко, а Pb и Ni — несколько ниже фоновых уровней. Боярышник же, в отличие от ясеня, существенно обогащен относительно лесной растительности всеми рассматриваемыми металлами: Fe — в 22 раза, Zn и Pb — до 4.5 раз, Ni и Cu — в 2–3 раза. Интересно также отметить, что доминант городского озеленения ясень маньчжурский занимает в ранжированном ряду по степени уменьшения показателя K_4 почти медианное 43 место, а доминант фоновых лесных фитоце-

нозов дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) — 53 место из общей выборки 80 видов. Показатель K_4 ясеня маньчжурского составляет 0.26, дуба — 0.23. При сравнении содержаний металлов в городских и природных популяциях этих видов оказывается, что в городских условиях ясень в 1.6 раза интенсивнее дуба концентрирует ассоциацию основных металлов-загрязнителей. Листья ясеня маньчжурского в городских местообитаниях обогащены по сравнению с природными фоновыми условиями Pb и Fe почти в 5 раз, Zn — в 3 раза, Ni — в 2 раза. Растения дуба монгольского в городских популяциях относительно природных накапливают Fe в 3 раза больше, Pb — в 1.7 раз, Zn и Ni — примерно в 1.3 раза. Повышенное содержание металлов в листьях ясеня маньчжурского объясняется особенностями его городских местообитаний. Этим видом на 2/3 сформированы рядовые насаждения вдоль центральных транспортных магистралей, а также придорожные аллеи, подверженные интенсивному антропогенно-техногенному прессу. Дуб же доминирует в городских парках и старых садах, растительность которых во многом близка природным фитоценозам и менее подвержена негативному влиянию урбанизации.

Важным качественным показателем при оценке функциональной эффективности видов в городском озеленении является также способность растений поглощать металлы из почвы (K_5). Этот процесс содействует оптимизации экологического состояния и санации городских почв и земель. Эффективность его реализации разными видами растений оценивалась с помощью коэффициента биологического накопления (КБН) металлов. Судя по полученным ранее данным, в почвах городских озелененных территорий Владивостока концентрация Pb превышает локальный экологический фон в 4 раза, Cu — в 3 раза, Zn — в 2 раза, Fe — 1.3 раза (Шихова, 2013). При этом среднестатистические значения КБН для городской растительности Владивостока свидетельствуют о закономерном снижении интенсивности поглощения металлов в системе почва-растение в ряду: Zn (КБН = 0.35) → Cu (0.32) → Pb (0.15) → Ni (0.07) → Fe (0.02). Следуя построенным известным геохимиком А.И. Перельманом (1979) рядам биологического поглощения элементов, Zn и Cu в регионе исследований соответствуют группе элементов сильно-го, Pb, Ni и Fe — среднего биологического захвата. В зависимости от видовой принадлежности растений показатель K_5 варьирует от 0.15 у яблони маньчжурской до 1.00 у ивы Шверина (*Salix schwerinii* E. Wolf) при среднестатистическом значении 0.37 ± 0.02 . Коэффициент вариации составляет 33%. Ранжированный ряд видов по этому показателю иллюстрирует высокие его величины (0.56–0.96) у большинства аборигенных видов сем. ивовых (*Salicaceae* Mirb.), многих пред-

ставителей сем. березовых (*Betulaceae* S.F. Gray) и отдельных видов сем. розоцветных (*Rosaceae* Juss.). Общим для них является активное поглощение из почвы Zn, Cu и Pb. В накоплении Zn доминируют тополь Максимовича (*Populus maximowiczii*) (КБН = 2.2), ива Шверина (*Salix schwerinii*) (КБН = 1.6), ива козья (*S. caprea* L.) (КБН = 1.3), береза плосколистная (*Betula platyphylla*) и тополь корейский (*Populus koreana*) (КБН = 1.2). Высоким накоплением почвенной Cu отличаются сирень широколистная и клен зеленокорый (КБН = 0.7), лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica* Maxim.), свободнаягодник колючий (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.)), маакия амурская (*Maackia amurensis* Rupr. et Maxim.) и ива козья (КБН = 0.6). Поглощение растениями Pb из почвы уступает накоплению биогенных элементов Zn и Cu. Наиболее высокие значения КБН Pb зафиксированы у бересклета малоцветкового (*Euronymus pauciflora* Maxim.) (КБН = 0.5) и ивы Шверина (КБН = 0.4). Интересно также отметить, что у типичных доминантов зеленых насаждений г. Владивостока: ясеня маньчжурского, пузыреплодника калинолистного — отмечено весьма слабое поглощение металлов из почвы. Такая закономерность сохраняется не только для доминирующих, но и для всех видов ясеней, встречающихся в городском озеленении. Показатель K_5 этих видов не превышает значений 0.25–0.28, что свидетельствует о том, что растения лишь на четверть от принятого качественного максимума выполняют экологическую функцию по санации городских почв от техногенного загрязнения металлами. Для 14 видов данный показатель ещё ниже. И лишь 20 видов, т.е. 1/4 часть их общей выборки, выполняют эту экологическую функцию на 50% и выше относительно ЭФЭ. К ним относятся все перечисленные выше виды, активно поглощающие из почвы Zn, Cu и Pb. Повышенное накопление Ni, Cu и Fe из почвы отмечено также у лещины маньчжурской и лещины разнолистной (*Corylus heterophylla*), Fe и Pb — у вишни войлочной (*Microcerasus tomentosa*).

Выполненный корреляционный анализ показал высокую положительную связь ($r = 0.96$) между показателями K_3 и K_4 , характеризующими межвидовую дифференциацию растений по способности аккумулировать тяжелые металлы в условиях городских антропогенно-техногенных нагрузок и относительно экологического фона. Менее значимые связи установлены между показателями, отражающими в той или иной мере пути поступления металлов в растения, — K_5 и K_3 ($r = 0.37$), а также K_5 и K_4 ($r = 0.35$). Согласно основам квалиметрии, при оценке качества следует избегать зависимых свойств. В связи с этим при итоговом вычислении КФЭВ из двух показателей с высокой корреляционной зависимостью (K_3 и K_4) был оставлен показатель K_3 , как более объективно отражающий внутри-

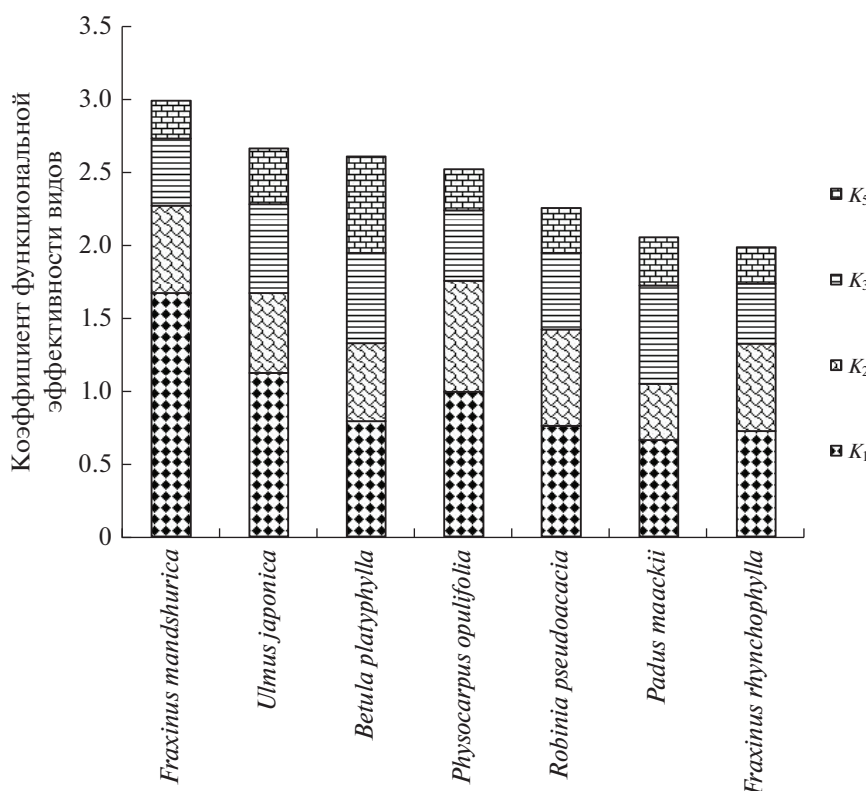


Рис. 1. Функциональная эффективность видов широкого распространения в городском озеленении Владивостока. K_1 – K_5 – показатели функционального качества видов в озеленении.

видовую дифференциацию сравниваемого списка дендрофлоры в накоплении тяжелых металлов.

Следуя принятым в работе методическим принципам, стандартом качества эффективного выполнения биолого-экологических и санитарно-гигиенических функций растений в городской среде может служить некий “идеальный вид”. Он отвечает функционально эффективным эталонным значениям всех учитываемых показателей качества. Коэффициент функциональной эффективности такого вида должен составлять 4.00 отн. ед. (по числу показателей качества), а “стандарт качества” (СК) – 100%.

По результатам проведенного анализа и определенных КФЭВ был построен ранжированный ряд для 80 видов по мере снижения их функциональной значимости в структуре городского озеленения Владивостока. Его возглавляет доминант зеленых насаждений г. Владивостока ясень маньчжурский (КФЭВ = 2.99), а завершает редкий в насаждениях вид – яблоня маньчжурская (КФЭВ = 0.97). По сравнению с “идеальным видом” ясень выполняет экологические функции в городской среде на 75%, яблоня – на 24%. Ясень маньчжурский лидирует по функциональной значимости, главным образом, за счет широкого распространения в озеленении и достаточно вы-

сокого виталитетного статуса (показатели K_1 и K_2). Для яблони маньчжурской, наоборот, характерна минимальная аккумуляция металлов из почвы (K_5), ослабленный виталитет (K_2) и совершенно недостаточная количественная представленность в озеленении (K_1). В целом же сравнительный анализ видового состава городских насаждений свидетельствует о значительном разнообразии функциональных способностей и потенциальных возможностей дендрофлоры по стабилизации урбоэкосистем и оптимизации городской среды для проживания населения. Судя по полученным данным, функциональная активность одних видов в большей степени обусловлена широтой распространения, т.е. количественным участием в структуре городских насаждений, других – высокой декоративностью и хорошими способностями к трансформации приоритетных загрязнителей городской среды, т.е. экологическими возможностями по ее оптимизации. Однако для большинства сравниваемых видов более характерны средние показатели встречаемости, жизненного состояния и аккумуляции загрязнителей среды.

Структуру качественных показателей функциональной эффективности видов-доминантов зеленых насаждений (3 группа по широте распространения в озеленении) иллюстрирует рис. 1.

Эти виды преимущественно формируют структуру городского озеленения и обеспечены репрезентативными выборками фактических данных. У основного состава доминантов городских насаждений (ясень маньчжурский, ясень носолистный, вяз японский, пузыреплодник калинолистный) КФЭВ формируется преимущественно за счет высокого участия в насаждениях (K_1), что вполне закономерно, и хороших аккумулятивных способностей к основным загрязнителям среды (K_3). При этом у большинства видового состава группы доля показателя K_1 достигает 1/3 и даже 1/2 величины КФЭВ (рис. 1). Повышенное же накопление металлов этими видами обусловлено, главным образом, особенностями их местобитаний — примагистральные рядовые насаждения, а также скверы и аллеи, подверженные высоким антропогенно-техногенным нагрузкам. Пузыреплодник калинолистный, являясь абсолютным доминантом кустарниковых насаждений, отличается к тому же наилучшим в составе группы жизненным состоянием ($K_2 = 0.76$). Черемуха Маака, уступая перечисленным видам по встречаемости в озеленении и виталитету, значительно превосходит их в поглощении металлов-загрязнителей городской среды ($K_3 = 0.68$), а береза плосколистная весьма активно очищает от них городские почвы ($K_5 = 0.66$). В целом же КФЭВ у растений 3 группы варьирует от 1.99 (ясень носолистный) до 2.99 (ясень маньчжурский), т.е. эта группа видов выполняет свои средостабилизирующие “обязанности” в городской среде на 50–75% принятого стандарта качества, отвечающего требованиям “идеального вида”.

Для менее распространенных в озеленении пород деревьев и кустарников наблюдаются несколько иные закономерности. Показатели функциональной эффективности 48 видов, умеренно (2 группа) и редко (1 группа) представленных в зеленых насаждениях, имеющих статистически достоверные фактические данные, приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о том, что виды 2 группы имеют, как правило, неплохой жизненный статус (K_2), близкие к средним для городской территории показатели по накоплению металлов ассимиляционными органами растений (K_3) и слабое накопление металлов-загрязнителей из почвы (K_5). В эту группу входят такие высоко декоративные виды дальневосточной дендрофлоры, как граб сердцелистный, бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), мелкоплодник ольхолистный, орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom.), доминант пригородных лесов дуб монгольский, а также красиво цветущие абрикос маньчжурский (*Armeniaca mandshurica* (Maxim.) B. Skvortz.), груша уссурийская (*Pyrus ussuriensis* Maxim.), трескун амурский (*Ligustrina amurensis*), чубушник тонко-

лиственный (*Philadelphus tenuifolius* Ropr. et Maxim.), вейгела ранняя (*Weigela praecox* (Lemoine) Bailey). В городских насаждениях они формируют преимущественно древостой и кустарниковые ярусы растительности парков, внутригородских рекреационных лесов, старых городских садов, т.е. городские местообитания с более благоприятными экологическими условиями, в меньшей степени подверженные антропогенно-техногенному прессу. Значения КФЭВ у представителей этой группы варьируют в пределах от 1.27 (ольха волосистая (*Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr)) до 2.44 (ива Шверина), что соответствует 32 и 61% СК. Следует отметить, что оба вида характеризуются слабой представленностью в озеленении ($K_1 = 0.17$), но существенно отличаются (до 4–5 раз) по остальным показателям качества, особенно — K_5 . Лидируют же в группе по функциональной значимости виды сем. ивовых (ива Шверина, тополь корейский, тополь черный), у которых КФЭВ достаточно высокий — 2.02–2.44.

Представителям самой многочисленной 1 группы присуща не только низкая встречаемость, но и низкая доля участия в насаждениях, т.е. малое количественное участие в структуре древесно-кустарниковых ярусов городской растительности. В эту группу вошли большинство декоративных интродуцентов и сортовых растений, плодовых и ягодных культур, а также хвойных пород. Эти виды преобладают в озеленении жилых кварталов, административных территорий, пришкольных зон, а также в насаждениях улиц и тротуаров, реже — в скверах. Экологическая функциональность представителей группы может изменяться весьма существенно в зависимости от условий произрастания. Состав группы отличается от более распространенных в озеленении видов высокой вариабельностью всех качественных показателей, но особенно по накоплению металлов (K_3) и встречаемости в озеленении (K_1): коэффициенты вариации — 36 и 56% соответственно. Для представителей группы характерно неплохое жизненное состояние (K_2) и повышенное накопление металлов из почвы (K_5). Предельные значения КФЭВ зафиксированы у яблони маньчжурской (0.97) и тополя Максимовича (*Populus maximowiczii*) (2.36). Они соответствуют 24 и 59% СК. Интересно также отметить, что, несмотря на малое участие в озеленении, ряд видов (боярышник перистонадрезанный, боярышник Максимовича (*Crataegus maximowiczii*), тополь Максимовича, осина обыкновенная (*Populus tremula*), береза Эрмана (*Betula ermanii*), лещина разнолистная, сирень Вольфа (*Syringa wolfii*), ива белая (*Salix alba* L.), вишня сахалинская (*Cerasus sargentii*), дейция мелкоцветковая (*Deutzia amurensis*), черемуха обыкновенная, форзиция свисающая (*Forsythia suspensa* Vahl.) и др.), показал высокую экологиче-

Таблица 1. Функциональная эффективность видов, умеренно и редко представленных в зеленых насаждениях г. Владивостока

Виды растений	Показатели функционального качества видов				КФЭВ	СК (%)
	K_1	K_2	K_3	K_5		
Умеренно распространенные (2 группа)						
<i>Populus koreana</i>	0.54	0.50	0.59	0.69	2.33	58
<i>Microcerasus tomentosa</i>	0.49	0.44	0.70	0.48	2.11	53
<i>Betula davurica</i>	0.37	0.53	0.60	0.57	2.06	52
<i>Philadelphus tenuifolius</i>	0.38	0.59	0.61	0.37	1.96	49
<i>Weigela praecox</i>	0.40	0.58	0.57	0.33	1.88	47
<i>Lonicera maackii</i>	0.33	0.58	0.55	0.41	1.87	47
<i>Swida alba</i>	0.45	0.68	0.41	0.27	1.81	45
<i>Euonymus maackii</i>	0.14	0.66	0.71	0.29	1.80	45
<i>Pyrus ussuriensis</i>	0.47	0.59	0.42	0.28	1.77	44
<i>Acer negundo</i>	0.46	0.58	0.48	0.24	1.76	44
<i>Ulmus pumila</i>	0.28	0.55	0.58	0.29	1.71	43
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0.36	0.75	0.31	0.28	1.69	42
<i>Tilia amurensis</i>	0.39	0.58	0.42	0.30	1.69	42
<i>Juglans mandshurica</i>	0.35	0.51	0.46	0.34	1.67	42
<i>Quercus mongolica</i>	0.33	0.59	0.43	0.32	1.67	42
<i>Larix</i> sp.	0.27	0.54	0.51	0.30	1.62	40
<i>Ligustrina amurensis</i>	0.30	0.50	0.40	0.39	1.59	40
<i>Carpinus cordata</i>	0.18	0.74	0.33	0.34	1.58	40
<i>Acer mono</i>	0.34	0.50	0.43	0.30	1.57	39
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> × <i>F. mandshurica</i>	0.15	0.61	0.55	0.23	1.55	39
<i>Amorpha fruticosa</i>	0.26	0.56	0.37	0.35	1.54	39
<i>Armeniaca mandshurica</i>	0.37	0.46	0.43	0.24	1.51	38
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	0.33	0.55	0.33	0.28	1.49	37
<i>Acer ginnala</i>	0.28	0.49	0.41	0.30	1.47	37
<i>Lespedeza bicolor</i>	0.17	0.71	0.34	0.19	1.41	35
<i>Micromeles alnifolia</i>	0.19	0.71	0.27	0.23	1.39	35
<i>Pinus sylvestris</i>	0.15	0.49	0.41	0.30	1.36	34
<i>Phellodendron amurense</i>	0.18	0.49	0.43	0.25	1.34	34
Редко встречающиеся (1 группа)						
<i>Crataegus pinnatifida</i>	0.06	0.69	1.20	0.28	2.24	56
<i>Corylus heterophylla</i>	0.02	0.63	0.74	0.46	1.85	46
<i>Populus tremula</i>	0.05	0.54	0.57	0.56	1.71	43
<i>Syringa wolfii</i>	0.10	0.41	0.68	0.49	1.68	42
<i>Deutzia amurensis</i>	0.05	0.53	0.57	0.49	1.63	41
<i>Pinus koraiensis</i>	0.04	0.60	0.59	0.36	1.59	40
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	0.08	0.69	0.48	0.33	1.58	39
<i>Padus avium</i>	0.10	0.53	0.53	0.42	1.58	39
<i>Crataegus maximowiczii</i>	0.07	0.44	0.63	0.41	1.55	39
<i>Euonymus macroptera</i>	0.02	0.81	0.32	0.33	1.49	37
<i>Viburnum sargentii</i>	0.06	0.63	0.46	0.34	1.48	37
<i>Morus alba</i>	0.08	0.55	0.43	0.39	1.44	36
<i>Corylus mandshurica</i>	0.04	0.44	0.33	0.61	1.42	36
<i>Maackia amurensis</i>	0.08	0.58	0.36	0.39	1.40	35
<i>Lonicera praeflorens</i>	0.04	0.63	0.36	0.36	1.38	35
<i>Tilia mandshurica</i>	0.05	0.63	0.44	0.23	1.33	33
<i>Kalopanax septemlobus</i>	0.06	0.70	0.34	0.23	1.33	33
<i>Prunus salicina</i>	0.07	0.49	0.47	0.21	1.25	31
<i>Abies holophylla</i>	0.02	0.46	0.45	0.22	1.15	29
<i>Malus mandshurica</i>	0.06	0.39	0.37	0.15	0.97	24

Примечание. K_1 – K_5 – показатели качества видов; КФЭВ – коэффициент функциональной эффективности видов; СК – стандарт качества.

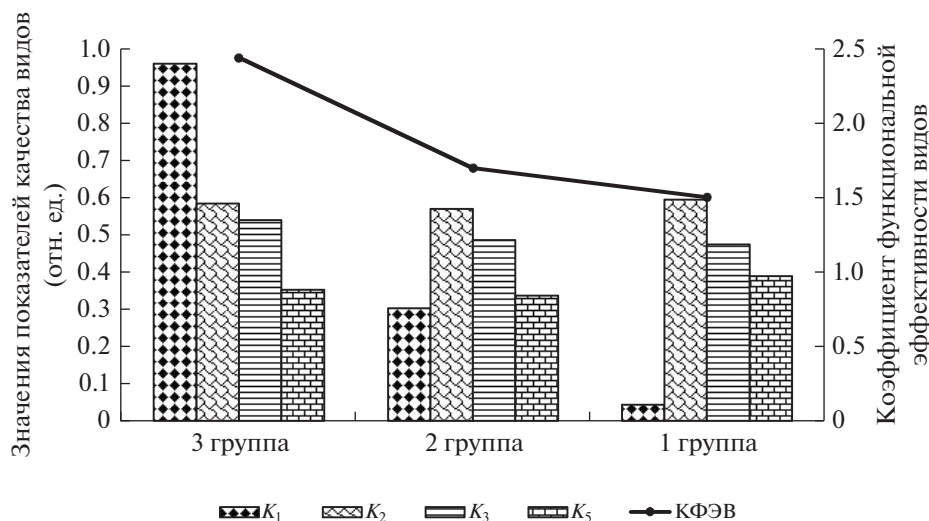


Рис. 2. Функциональная эффективность видов в зависимости от встречаемости в озеленении. K_1 – K_5 – показатели функционального качества видов в озеленении, $K_{ФЭВ}$ – коэффициент функциональной эффективности видов в озеленении.

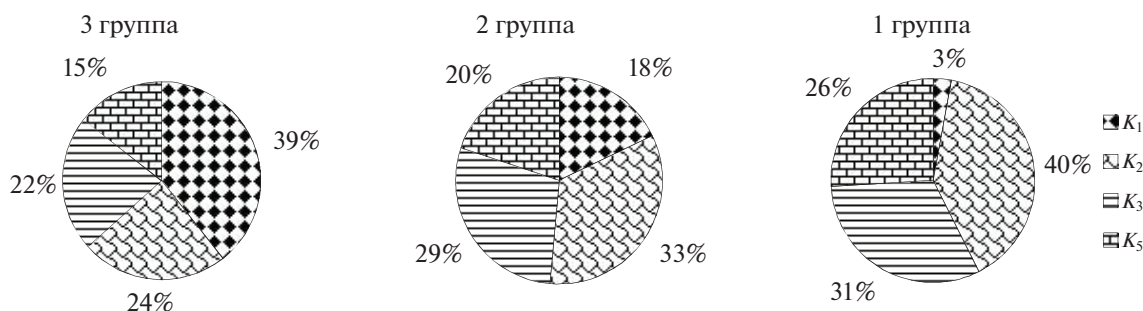


Рис. 3. Структура интегрального показателя качества видов в группах растений, отличающихся шириной распространения в городских насаждениях. K_1 – K_5 – показатели функционального качества видов в озеленении.

скую пластичность и эффективность в трансформации тяжелых металлов в урбоэкосистемах и в конечном итоге – оптимизации городской среды для проживания населения. При этом некоторые из представителей группы, наряду с активным поглощением загрязнителей среды, остаются в хорошем жизненном состоянии, что позволяет им сохранять высокую декоративность. Этот факт заслуживает дальнейшего научного и практического интереса к данным видам для оценки границ их толерантности и устойчивости к техногенным загрязнителям среды, а также перспективы более широкого использования в озеленении.

Средние значения качественных показателей функциональности для групп видов, отличающихся по распространенности в озеленении, представлены на рис. 2. Они свидетельствуют о постепенном снижении эффективности выполняемых растениями эколого-биологических функций (примерно в 1.7 раза) по мере уменьшения количественного участия видов в зеленых насаждениях. $K_{ФЭВ}$ при

этом снижается с 2.44 (виды широкого распространения) до 1.47 (редко встречающиеся виды), т.е. с 61 до 37% СК. Отличия между группами, кроме количественного состава, отмечены также в интенсивности аккумуляции ими металлов. Так, у видов-доминантов (3 группа) по сравнению с другими наблюдается 1.2–1.3-кратное обогащение металлами (K_3), редко встречающихся видов (1 группа) – незначительное преимущество (до 1.2 раза) в почвенном поглощении металлов (K_5), и более высоким жизненным статусе (K_2). Установленные закономерности для сравниваемых групп растений четко прослеживаются по приоритетным показателям качества в общей структуре $K_{ФЭВ}$ (рис. 3). В группах видов с редким и умеренным распространением в озеленении $K_{ФЭВ}$ на 60–70% формируется за счет высоких показателей виталитета (K_2) и аккумуляции тяжелых металлов (K_3), в группе широкого распространения – почти на 40%, благодаря очень высоким показателям встречаемости (K_1), и еще

на 46% – суммарной величине показателей виталитета (K_2) и аккумуляции тяжелых металлов (K_3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод интегральной оценки функциональной эффективности видового состава зеленых насаждений, разработанный на примере структуры городского озеленения Владивостока, может служить базовой моделью для качественно-количественной оценки существующего городского зеленого фонда, мониторинга его состояния и управления качеством с использованием современных информационных технологий. В настоящей работе для оценки функционального качества объектов исследования использованы 4 показателя. В перспективе возможно использование любого числа наиболее информативных показателей в зависимости от поставленной цели и решаемых задач. Метод позволяет обеспечить информационной базой органы и организации, связанные с природоохранной и градостроительной деятельностью.

Результаты качественной оценки видового состава и его эффективности в структуре городского озеленения служат также научно-обоснованной базой для создания новых и реконструкции существующих зеленых насаждений, дифференцированных мер ухода за ними, что в целом будет способствовать организации рациональной и устойчивой системы городского озеленения.

Использованные в работе методические приемы и полученные данные могут быть востребованы также в будущем при разработке методов экономической оценки услуг зеленых насаждений, планирования и управления городскими территориями на основе комплексных подходов, что в настоящее время весьма актуально в мировой практике современного градостроительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Черникова К.В. Информационно-аналитическая система “Управление качеством городских объектов озеленения”. Модуль I – Мониторинг состояния городских объектов озеленения // Хвойные бореальной зоны. 2015а. Т. XXXIII. № 3–4. С. 89–95.

Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Черникова К.В. Информационно-аналитическая система “Управление качеством городских объектов озеленения”. Модуль II – Оценка качества городских объектов озеленения // Хвойные бореальной зоны. 2015б. Т. XXXIII. № 3–4. С. 96–102.

Авдеева Е.В., Полетайкин В.Ф., Авдеева Е.А. Оценка уровня качества объектов городского озеленения методами прикладной квалиметрии // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1–2. С. 93–97.

Азгальдов Г.Г., Гличев А.В., Панов В.П. Что такое качество? М.: Экономика, 1968. 135 с.

Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.

Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Перельман А.И. Геохимия: учебное пособие. М.: Высшая школа. 1979. 423 с.

Саев Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: МГУ, 1982. С. 84–100.

Скачкова М.Е., Копалова К.М. Методическое обеспечение оценки уровня комфортности зеленых насаждений общего пользования // Природообустройство. 2018. № 2. С. 125–131.

Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.

Федорова Н.Б. Определение качества и ценности зеленых насаждений на территории Санкт-Петербурга // Лесной вестник. 2011. № 4. С. 144–151.

Шихова Н.С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.

Шихова Н.С. Оценка функционального состояния зеленых насаждений и аккумуляции ими тяжелых металлов на городских озелененных территориях различного назначения // Сибирский экологический журн. 2019. № 5. С. 612–626.

Шихова Н.С. Трансформация дальневосточной арборифлоры техногенных загрязнений среды // Аграрный вестник Приморья. 2016. № 1. С. 29–32.

Шихова Н.С. Экологическое состояние почв и зеленых насаждений Владивостока // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 97–102.

Шихова Н.С. Эколого-геохимические особенности растительности Южного Приморья и видоспецифичность арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // Сибирский лесной журн. 2017. № 6. С. 76–88.

Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.

Шихова Н.С., Полякова Е.В. Оценка жизненного состояния и устойчивости видов в озеленении г. Владивостока // Бюллетень ГБС. 2003. Вып. 185. С. 14–27.

Aliman M., Yustisia A., Barlian E., Syah N. Spatial Analysis of the Needs of Green Open Space at Universitas Negeri Padang // Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education. 2017. V. 1. № 2. P. 140–146.

Daniels B., Zaunbrecher B.S., Paas B., Ottermanns R., Ziefle M., Roß-Nickoll M. Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective // Science of The Total Environment. 2018. V. 615. P. 1364–1378.

Dennis M., James P. Considerations in the valuation of urban green space: accounting for user participation // Ecosystem Services. 2016. V. 21 (Part A). P. 120–129.

Ives C., Oke C., Cooke B., Gordon A., Bekessy S. Planning for green open space in urbanising landscapes: Final report for Australian Government Department of Environment. 2014. 94 p.

James P., Tzoulas K., Adams M.D., Barber A., Box J., Breuste J., Elmqvist T., Frith M., Gordon C., Greening K.L., Handley J., Haworth S., Kazmierczak A.E., Johnston M., Korpela K.,

Moretti M., Niemelä J., Pauleit S., Roe M.H., Sadler J.P. Towards an integrated understanding of green space in the European built environment // *Urban Forestry and Urban Greening*. 2009. V. 8. Issue 2. P. 65–75.

Jankevica M. Assessment of landscape ecological aesthetics in urban areas: Example of Jelgava // *Research for Rural Development*. 2012. № 2. P. 134–140.

Niemelä J. Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions // *Landscape and Urban Planning*. 2014. V. 125. P. 298–303.

Ridder K. De., Adamec V., Bañuelos A., Bruse M., Bürger M., Damsgaard O., Dufek J., Hirsch J., Lefebvre F., Pérez-Lacort J.M., Thierry A., Weber C. An integrated methodology to assess the benefits of urban green space // *Science of The Total Environment*. 2004. V. 334–335. P. 489–497.

Comparative Assessment of the Functional Efficiency of Arboriflora Species Composition in Urban Green Spaces

N. S. Shikhova*

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS,
Stoletiya Street, 159, Vladivostok, 690022 Russian

*E-mail: shikhova@biosoil.ru

The article discusses the results of a comprehensive analysis of the ecological state and environment-stabilizing functions of the species composition of arboriflora in the urban planting structure. It's based on a large amount of factual material obtained during the course of a long-term monitoring of Vladivostok's urban greenery. A methodological substantiation has been developed for a comprehensive qualitative-quantitative assessment of species using the applied qualimetry techniques. An integral indicator, named the coefficient of the functional efficiency of the species (JFEC) was proposed as the main evaluation unit. It is a relative-quantitative magnitude of plants quality that characterises their functional efficiency and significance in urban ecosystems: prevalence in greenery planting, vitality, the ability for accumulation of the priority pollutant metals in the urban environment, their concentration relative to the local ecological background; the capability for accumulating metals from the soil. Comparative analysis of the functional efficiency of 80 species of trees and shrubs forming the urban greenery of Vladivostok on the basis of the proposed coefficient was carried out. Among the compared sample of plants, the JFEC decreases from 3.70 (*Crataegus pinnatifida*) to 1.13 (*Malus mandshurica*). This values measure up to 74 and 23% of the quality standard (QS), which corresponds to the ideal plant species. The groups of species of different functional significance in the urban green spaces structure have been identified. The best efficiency in creating the comfortable environmental conditions in the city was demonstrated by species widespread in landscaping: *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus japonica*, *Betula platyphylla*, *Physocarpus opulifolia* et al. They are characterized by the maximum participation in the formation of the urban greenery structure and a high ability to absorb the main pollutants of the urban environment. The JFEC of these species is within 3.26–2.61, which corresponds to 65–52% of the QS. In conclusion, author makes a suggestion on a rational use of species for the formation of a comfortable urban environment and introduction of the results into the practice of managing the urban green fund.

Keywords: urban greenery, urban green spaces, arboriflora, integrated assessment, ecological functions of plants, functional efficiency of plants, greenery elements quality, applied qualimetry techniques.

REFERENCES

Alekseev V.A., Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev (Diagnostics of vitality of trees and stands), *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57.

Aliman M., Yustisia A., Barlian E., Syah N., Spatial Analysis of the Needs of Green Open Space at Universitas Negeri Padang, *Sumatra J. Disaster, Geography and Geography Education*, 2017, Vol. 1, No. 2, pp. 140–146.

Avdeeva E.V., Poletaikin V.F., Avdeeva E.A., Otsenka urovnya kachestva ob"ektov gorodskogo ozeleneniya metodami prikladnoi kvalimetrii (Level quality assement of green spaces by applied qualimetry techniques), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2008, Vol. XXV, No. 1–2, pp. 93–97.

Avdeeva E.V., Vagner E.A., Nademyanov V.F., Chernikova K.V. Informatsionno-analiticheskaya sistema "Upravlenie kachestvom gorodskikh ob"ektov ozeleneniya". Modul' I – Monitoring sostoyaniya gorodskikh ob"ektov ozeleneni-

ya (Information-analytical system "Quality management of urban greening facilities". Module I – Monitoring the condition of urban greening facilities), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2015a, Vol. XXXIII, No. 3–4, pp. 89–95.

Avdeeva E.V., Vagner E.A., Nademyanov V.F., Chernikova K.V., Informatsionno-analiticheskaya sistema "Upravlenie kachestvom gorodskikh ob"ektov ozeleneniya". Modul' II – Otsenka kachestva gorodskikh ob"ektov ozeleneniya (Information-analytical system "Quality management of urban greening facilities" Module II – Assesment of the quality of urban greening facilities"), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2015b, Vol. XXXIII, No. 3–4, pp. 96–102.

Azgal'dov G.G., Glichev A.V., Panov V.P., *Chto takoe kachestvo?* (What is quality?), Moscow: Ekonomika, 1968, 135 p.

Azgal'dov G.G., Raikhman E.P., *O kvalimetrii* (On qualimetry), Moscow: Izd-vo standartov, 1973, 172 p.

- Daniels B., Zaunbrecher B.S., Paas B., Ottermanns R., Ziefle M., Roß-Nickoll M., Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective, *Science of The Total Environment*, 2018, Vol. 615, pp. 1364–1378.
- Dennis M., James P., Considerations in the valuation of urban green space: accounting for user participation, *Ecosystem Services*, 2016, Vol. 21 (Part A), pp. 120–129.
- Fedorova N.B., Opređenje kachestva i tsennosti zelenykh nasazhdenii na territorii Sankt-Peterburga (Definition of quality and value of green plantings in territory of St.-Petersburg.), *Lesnoi vestnik*, 2011, No. 4, pp. 144–151.
- Ives C., Oke C., Cooke B., Gordon A., Bekessy S., *Planning for green open space in urbanising landscapes*, Final report for Australian Government Department of Environment, 2014, 94 p.
- James P., Tzoulas K., Adams M.D., Barber A., Box J., Breuste J., Elmqvist T., Frith M., Gordon C., Greening K.L., Handley J., Haworth S., Kazmierczak A.E., Johnston M., Korpela K., Moretti M., Niemelä J., Pauleit S., Roe M.H., Sadler J.P., Towards an integrated understanding of green space in the European built environment, *Urban Forestry and Urban Greening*, 2009, Vol. 8, Iss. 2, pp. 65–75.
- Jankevica M., Assessment of landscape ecological aesthetics in urban areas: Example of Jelgava, *Research for Rural Development*, 2012, No. 2, pp. 134–140.
- Niemelä J., Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions, *Landscape and Urban Planning*, 2014, Vol. 125, pp. 298–303.
- Perel'man A.I., *Geokhimiya* (Geochemistry), Moscow: Vysshaya shkola, 1979, 423 p.
- Ridder K. De., Adamec V., Bañuelos A., Bruse M., Bürger M., Damsgaard O., Dufek J., Hirsch J., Lefebvre F., Pérez-Lacorzana J.M., Thierry A., Weber C., An integrated methodology to assess the benefits of urban green space, *Science of The Total Environment*, 2004, Vol. 334–335, pp. 489–497.
- Saet Y.E., Geokhimicheskaya otsenka tekhnogennoi nagruzki na okruzhayushchuyu sredu (Geochemical assessment of technogenic load on the environment), In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* (Geochemistry of landscapes and geography of soils), Moscow: MGU, 1982, pp. 84–100.
- Shikhova N.S., Ekologicheskoe sostoyanie pochv i zelenykh nasazhdenii Vladivostoka (Ecological condition of vegetation soils in Vladivostok), *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2013, No. 1, pp. 97–102.
- Shikhova N.S., Ekologo-geokhimicheskie osobennosti rastitel'nosti Yuzhnogo Primor'ya i vidospetsifichnost' arboriflory v nakoplenii tyazhelykh metallov (Ecological and geochemical peculiarities of the South Primorye vegetation and arboriflora species specificity in the heavy metal accumulations), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, No. 6, pp. 76–88.
- Shikhova N.S., Kompleksnaya otsenka sostoyaniya lesov zelenoi zony Vladivostoka (Integral assessment of the forests of Vladivostok green belt), *Lesovedenie*, 2015, No. 6, pp. 436–446.
- Shikhova N.S., Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya zelenykh nasazhdenii i akumulatsii imi tyazhelykh metallov na gorodskikh ozelenennykh territoriyakh razlichnogo naznacheniya (Assessment of the functional state of green plantings and the accumulation of heavy metals by vegetation in urban green areas for various purposes), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2019, No. 5, pp. 612–626.
- Shikhova N.S., Polyakova E.V., *Derev'ya i kustarniki v ozelenenii goroda Vladivostoka* (Trees and bushes of Vladivostok streets), Vladivostok: Dal'nauka, 2006, 236 p.
- Shikhova N.S., Polyakova E.V., Otsenka zhiznennogo sostoyaniya i ustoichivosti vidov v ozelenenii g. Vladivostoka (Assessment of the vital state and stability of species in the landscaping of Vladivostok), *Byulleten' GBS*, 2003, Vol. 185, pp. 14–27.
- Shikhova N.S., Transformatsiya dal'nevostochnoi arborifloroi tekhnogennykh zagryaznenii sredy (The transformation of technogenic pollution of the environment by the far Eastern arboriflora), *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2016, No. 1, pp. 29–32.
- Skachkova M.E., Kopalova K.M., Metodicheskoe obespechenie otsenki urovnya komfortnosti zelenykh nasazhdenii obshchego pol'zovaniya (Methodological support for assessment of the comfort level of green spaces of public use), *Prirodoobustroistvo*, 2018, No. 2, pp. 125–131.
- Ufimtseva M.D., Terekhina N.V., *Fitoindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya urbogeosistem Sankt-Peterburga* (Phytoindication of the ecological state of the urban geosystems of St. Petersburg), Saint Petersburg: Nauka, 2005, 339 p.

УДК 630*114.351:550.42

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ТОРФЯНИСТЫХ ПОДСТИЛОК В ЮЖНОТАЕЖНЫХ БОЛОТНЫХ БЕРЕЗНЯКАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2023 г. Т. Т. Ефремова^а, *, С. П. Ефремов^а, А. Ф. Аврова^а^аИнститут леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Академгородок, д. 50/28, Красноярск, 660036 Россия

*E-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 30.06.2021 г.

После доработки 12.04.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

Изучались торфянистые подстилки мохово-древесного состава в насаждениях березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) травяно-мшистых групп типов леса в северной части междуречья Оби и Томи (географические координаты 56°23'18" с.ш., 084°32'51" в.д.). Подстилки характеризуются слабой насыщенностью основаниями – 35.6%, кислой реакцией среды – pH_{H_2O} 4.0, зольностью – 8.9%. Среднее содержание макро- и микроэлементов образует следующий нисходящий ряд, мг/кг: $Ca_{5105} > Fe_{4201} > Al_{3614} > K_{986} > Mg_{893} > Mn_{468} > Sr_{230} > Na_{153} > Zn_{51} > Pb_{13} > Cu_{6.8} > Ni_5 > Cr_{4.6} > Co_{2.9} > Cd_{0.2}$. Согласно факторному анализу, состав минеральной компоненты подстилок в процессе деструкции растительных остатков на 57% определяется изменчивостью содержания тяжёлых металлов, на 37% – щелочных, щелочноземельных, Zn, Cd. Методом древовидной кластеризации морфометрические фракции растительных фрагментов (дериваты) организовались следующим образом: >10 мм, [(10–5) + (5–3) + (3–2) + (2–1)] и [(1–0.5) + (0.5–0.25) + <0.25] мм. Дискриминантный анализ показал 100% попадание в соответствующую группу. Наибольший вклад в предсказание вносят Al и Ca. По мере распада растительных фрагментов тяжёлые металлы и алюминий последовательно накапливаются, щелочные и щелочноземельные металлы вымываются и наиболее активно – на стадии ферментации. Распределение минеральных компонентов в дериватах подстилок согласуется с их гумусным состоянием. В мелких морфометрических фракциях по сравнению с крупными фрагментами расширяется отношение $(\Sigma GK + \Sigma FK)/\text{полисахариды}$, сужается величина C/N, накапливаются гуминовые и фульвокислоты главным образом 1-й фракции. Торфянистые подстилки характеризуются средним, умеренно опасным уровнем загрязнения: суммарный показатель загрязнения (Zc) – 18. В составе токсикантов доминируют Pb, Zn – химические элементы I класса опасности.

Ключевые слова: мезотрофные березняки, дериваты, макро- и микроэлементы, гумусное состояние, суммарный показатель загрязнения, многомерный статистический анализ.

DOI: 10.31857/S002411482303004X, EDN: PSYISR

Лесообразовательный процесс на болотах сопровождается формированием подстилки. Морфолого-генетическое строение подстилки является важнейшим показателем и фактором лесного почвообразования в современных условиях и в полной мере отражает скорость и направленность трансформации лесного опада (Богатырев и др., 2008; Maier, 2008). Его деструкция под влиянием биологических и абиотических факторов обуславливает гетерогенность физико-химических и биохимических свойств растительного субстрата. К числу приоритетных показателей этих процессов относится зольность, которая в торфяных залежах болотных местообитаний служит важным индикатором их лесопригодности. Ингредиенты зольного состава играют многообразную роль в формировании условий почвенной среды на болотах. Щелочные и щелочноземельные металлы

(K, Na, Ca, Mg) формируют кислотно-основные свойства, элементы с переменной валентностью (Fe, Mn, Co, Cr) участвуют в регулировании окислительно-восстановительного режима. Многие тяжёлые металлы образуют комплексные соединения с гумусовыми кислотами и серо-, фосфор- и азотсодержащими лигандами. Органоминеральные комплексы подстилки способствуют формированию гумусовых горизонтов лесных почв и в случае аэрогенного поступления загрязняющих веществ обеспечивают долговременное изъятие этих потоков из окружающей среды.

Установлено, что регулирование потоков тяжёлых металлов в лесных экосистемах, наряду с физико-химическими факторами, обусловлено породным составом древостоев, характером напочвенного покрова, геохимической специализацией растений и подтверждено многими работа-

ми (Ernst, 2006; Maestri et al., 2010; Sofo et al., 2012; Железнова, Тобратов, 2021). Последующее распределение тяжелых металлов в значительной мере определяется составом, строением, мощностью подстилки, удерживающая способность которой наиболее выражена в подстилке типа мор или модер-мор в интервале до 3.5–4.0 см (Щеглов и др., 2005). В верхнем слое подстилки (L) ТМ находятся преимущественно в подвижной форме, в нижележащих слоях (F, H) — в составе трудно растворимых органоминеральных комплексов. Формирование стратифицированного профиля лесной подстилки сопровождается последовательной деструкцией растительного опада. Как элементы морфологической дифференциации, дериваты, являясь структурной частью подстилки, ассоциативно связаны между собой, однако в вещественном отношении могут достоверно различаться и представлять скорее дискретные, чем континуальные совокупности (Богатырев и др., 2004). Изучение в профиле подстилки свойств растительных фрагментов, в частности, концентрации тяжелых металлов, является реальным методическим приемом характеристики стадий преобразования лесного опада. Между тем особенности накопления тяжелых металлов в подстилке в связи с особенностями морфолого-генетического сложения остаются не изученными в полной мере до последнего времени.

С изложенных позиций роль подстилки болотных лесов в регулировании потоков тяжелых металлов практически не затронута исследованиями. Подстилка, как поверхностный горизонт лесных гидроморфных местообитаний, чаще всего не вычленяется при оценке техногенного загрязнения торфяных залежей (Shotyk, 1996; Бернатонис и др., 2002; Rausch et al., 2005; Jia et al., 2006; Ogru, 2006; Тарханов, 2011; Fikiewicz-Kozie et al., 2011; Федорец, Солодовников, 2013; Ефремова, Ефремов, 2014; Василевич, 2018; Леонова и др., 2018; Липатов и др., 2018; Bao et al., 2018, 2019; Богуш и др., 2019). Признание за подстилкой особых биогеохимических функций на пути вертикальной миграции элементов-загрязнителей ставит специфические задачи ее исследования в различных регионах (Щеглов и др., 2005).

Цель настоящей работы — оценить последовательность распределения макро- и микроэлементов в морфометрических фракциях (дериватах) лесной подстилки как проявление процесса преобразования ее минеральной компоненты и фактора дифференциации на генетические подгоризонты в ходе почвообразования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Заболоченные и болотные березняки в составе лесного фонда таежной зоны Западно-Сибирского региона занимают площадь около 15.5 млн га

с запасом стволовой древесины, превышающей 1.6 млрд м³ (Лесной фонд России, 1999). Объектом исследования послужил олиго-мезотрофный слабо естественно-дренированный массив Еловочного болота — одного из элементов крупной системы болот (2.3 тыс. га) в северной части междуречья Оби и Томи южнотаежной подзоны Западной Сибири (географические координаты 56°23'186" с.ш., 084°32'519" в.д.). Болото питается “мягкой” верховодкой, поступающей из окаймляющих песчаных грив, и атмосферными осадками. К настоящему времени здесь сформировалась локально обособленная внутриводотная гидрографическая сеть, стержневым элементом которой является русло речки Еловки. Весной на поверхности торфяной залежи осаждаются взвешенные наносы талых вод, богатых растворенным органическим веществом гумусовой природы. В настоящее время в прибрежной части Еловочного болотного массива (около 300 м) произрастают древостои березы пушистой. По мере удаления от русла р. Еловки снижается проточность вод, что сопровождается ухудшением гидрологических условий (повышением уровня грунтовых вод и влажности почв), возрастанием олиготрофности торфяного субстрата и сменой доминирующих растительных группировок в напочвенном покрове. Крупнотравные группы березняков, приближенные к руслу, сменяются на расстоянии 190–270 м травяно-мшистыми. Здесь состав древостоя по запасу составляет 8Б2С. Сумма площадей сечений — 17.8–20.3 м²/га⁻¹, полнота — 0.9–1.0 при густоте стволов 1120–1260 экз. га⁻¹. Средняя высота древостоя — 13.7 м, диаметр — 14.1 см, возраст — 48–60 лет. Запасы древесины — в пределах 114–127 м³/га⁻¹, класс бонитета III–IV. В напочвенном покрове преобладают сфагновые мхи (сфагнум божественный (*Sphagnum magellanicum*), сфагнум центральный (*Sph. centrale*), сфагнум бурый (*Sph. fuscum*), сфагнум узколиственный (*Sph. angustifolium*), сфагнум оттопыренный (*Sph. squarrosum*)), лесные зеленые мхи (дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*), политрихум обыкновенный (*Polytrichum commune*), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*)), осоки (осока волосисто-плодная (*Carex lasiocarpa*), осока топяная (*C. limosa* L.), осока носатая (*C. rostrata*), осока магелланская (*C. magellanica*), осока шаровидная (*C. globularis*)), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.) и др. В течение 2004–2007 гг. уровень поверхностных вод на таком удалении от реки колеблется в теплый период от 20 до 52 см и в среднем составляет 33 см. В травяно-мшистых березняках корнеобитаемая зона 0–30 см представлена мезотрофным (переходным) типом почв, которые формируются на мощных лесо-топяных торфах (290 см). Они характеризуются относительно

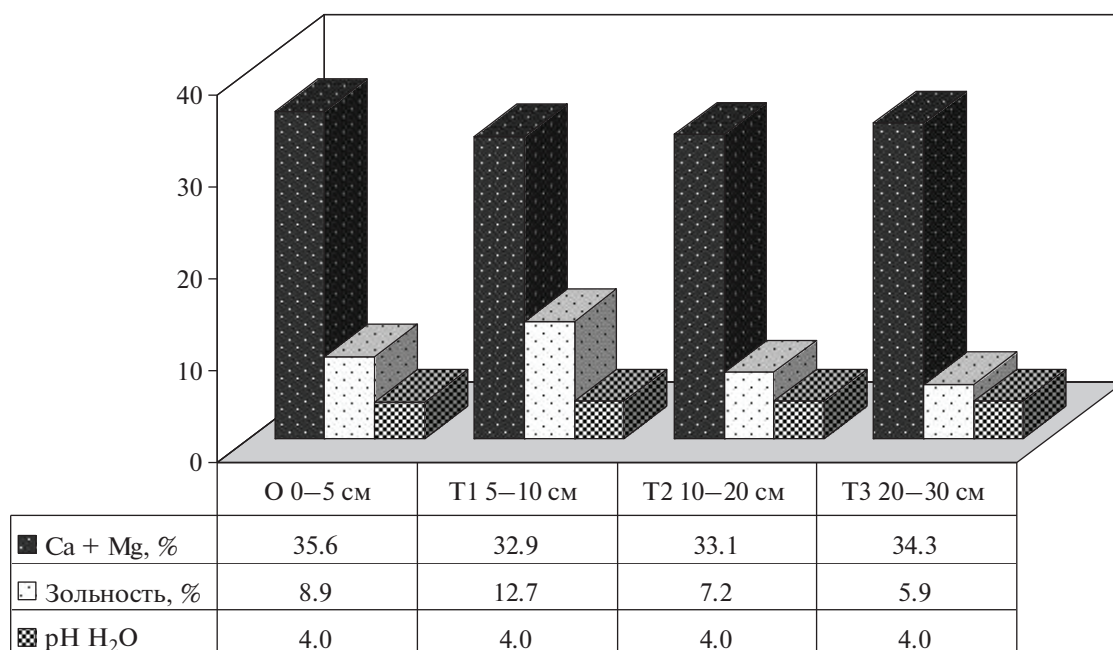


Рис. 1. Физико-химическая характеристика мезотрофной торфяной почвы под травяно-мшистым березняком.

низкой зольностью, слабой насыщенностью основаниями и кислой реакцией среды (рис. 1).

В таких местообитаниях формируются торфянистые подстилки древесно-мохового состава. Среднее количество опада в травяно-мшистом березняке равняется 281–267 г/м². Доля древесных остатков составляет – 66–68%, в которых доминируют листья березы. Вклад травяно-мохового покрова – 32–34%, преобладают сфагновые мхи. Наличие торфянистой подстилки в болотных березняках лимитирует возобновление материнской породы. Мелкие семена березы пушистой, имея низкую грунтовую всхожесть (16–21%), при рассеве на поверхности подстилки быстро теряют способность к прорастанию, а большая часть появившегося светлюбивого самосева заглушается плотным покровом мхов, осок и пушицы. В результате численность подроста березы не выходит за пределы 300–350 экз. га⁻¹. Мощность подстилки за 4-летний период наблюдений изменялась от 3.5 до 7.8 см (среднее 5.5), запасы – 1.66–4.17 кг/м² (2.77). Подстилка характеризуется в среднем следующим морфолого-генетическим строением: L_{2.5}–F_{2.0}–H_{<1} (нижние индексы, см). По химическим свойствам торфянистые подстилки практически не отличаются от нижележащих слоев торфа. Граница между ними хорошо выражена по составу – древесно-моховому и моховому, сложению – губчатому и слоисто-горизонтальному и плотности субстрата – 0.052 и 0.100 г/см³.

Отбор образцов проводился по доминантным растительным группировкам в период максимального разложения опада в годовом цикле

(первая половина августа). За время наблюдений было выполнено более 50 морфолого-генетических описаний торфянистых подстилок по критериям А.П. Сапожникова (1984). Название почвы дано по классификации Н.И. Пьявченко, основанной на химическом принципе – насыщенности торфяного субстрата основаниями и величине pH (Пьявченко, Корнилова, 1978). Физико-химические показатели почв и подстилок выявляли по общепринятым в почвоведении методам (Агрохимические методы ..., 1975). Валовое содержание макро- и микроэлементов в подстилке определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре МГА-915МД (Россия). Групповой и фракционный состав органического вещества выполнен по методике В.В. Пономаревой и Т.А. Николаевой (1961). Дифференциация торфянистой подстилки по морфометрическим фракциям (дериватам) произведена путем рассева на почвенных ситах. Многомерный статистический анализ проведен в программе EXCEL и STATISTICA 6 по руководствам Дж.-О. Кима с соавторами и А.А. Халафяна (Ким и др., 1989; Халафян, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое описание фракционного состава торфянистой подстилки приведено в табл. 1.

В составе подстилки доминируют крупные фрагменты (>10 мм) – 26%. В относительно близком соотношении присутствуют фракции 10–7, 7–5, 5–3, 3–2 и 2–1 мм (9–15%). Количество наиболее диспергированных частиц 1–0.5, 0.5–0.25 и

Таблица 1. Характеристика морфометрических фракций торфянистой подстилки березняка травяно-мшистого

Размер фракций, мм	Весовая доля в подстилке, %	Цвет	Компонентный состав	
			степень деструкции растительных остатков	агрегированность растительной субстанции
>10	26	Светло-бурый	Сохранившиеся листья и кора березы, веточки, шишки сосны – 30–35%	Микропористые, механически непрочные крупноореховатые отдельности моховых остатков, склеенные органическими коллоидами – 65–70%
10–7	9.4	Бурый	Листья березы, остатки мхов, стебли трав, хвоя, веточки, сильно размягченные – 50%	Ореховатые отдельности, аналогичного состава – около 50%
7–5	10.1	Темно-бурый	Аналогичные по составу и степени разложения фрагменты – 75%	Мелкоореховатые агрегаты аналогичного состава – 25–30%
5–3	14.9	Темно-бурый	Сильно мацерированные древесные остатки с небольшим включением стеблей трав и сфагновых мхов – 75%	Непрочные крупнозернистые агрегаты трудно распознаваемых остатков мхов, склеенных гумусовой плазмой – 25%
3–2	12.2	Темно-бурый	Сильно разложившиеся нераспознаваемые растительные остатки – около 70%	Зернистые агрегаты гумусовой природы – около 30%
2–1	12.9	Темно-бурый	Аморфная неагрегированная гумусированная масса – 90%	Непрочные зернистые агрегаты гумусовой природы – около 10%
1–0.5	6.5	Темно-бурый	Аморфная гумусированная субстанция – 90–95%	Мелкозернистые гумусовые агрегаты – 5–10%
0.5–0.25	4.6	Темно-бурый	Аморфная гумусированная масса	Нет
<0.25	3.0	Темно-бурый	Аморфная гумусированная субстанция с единичным включением фрагментов сфагновых мхов	Нет

<0.25 мм значительно меньше – 3–6%. Средневзвешенное содержание макро- и микроэлементов в подстилке ранжировано в порядке убывания: $\text{Ca}_{5105} > \text{Fe}_{4201} > \text{Al}_{3614} > \text{K}_{986} > \text{Mg}_{893} > \text{Mn}_{468} > \text{Sr}_{230} > \text{Na}_{153} > \text{Zn}_{51} > \text{Pb}_{13} > \text{Cu}_{6.8} > \text{Ni}_5 > \text{Cr}_{4.6} > \text{Co}_{2.9} > \text{Cd}_{0.2}$, мг/кг. В пересчете на гектар запасы макро- и микроэлементов составляют: $\text{Ca}_{146} > \text{Fe}_{120} > \text{Al}_{103} > \text{K}_{28.2} > \text{Mg}_{25.6} > \text{Mn}_{13.4} > \text{Sr}_{6.6} > \text{Na}_{4.4} > \text{Zn}_{1.5} > \text{Pb}_{0.37} > \text{Cu}_{0.19} > \text{Ni}_{0.14} > \text{Cr}_{0.13} > \text{Co}_{0.084} > \text{Cd}_{0.006}$, кг/га. Приведенные данные свидетельствуют о преимущественном накоплении в торфянистой подстилке щелочноземельных металлов и полуторных оксидов. Основным источником металлов в торфянистой подстилке является атмосферная пыль и биогенное накопление мхами, лишайниками, березой, сосной изучаемого фитоценоза. Содержание элементов в морфометрических фракциях (дериватах) лесной подстилки характеризуется в основном высокой вариабельностью – $\text{Cv} > 25\%$ (табл. 2). Наиболее сильно варьирует Fe, Al, Mn (Cv 49–77%), менее остальных – K, Cu, Cd, Cr (Cv 13–20%).

Воды, питающие мезотрофное Еловочное болото, сильноокислые (pH 3.4), обогащенные растворимым углеродом (143 мг/л), в силу низкой минерализации (14 мг/л) не могут оказывать заметного влияния на величину и состав минеральной компоненты. Химические элементы торфянистой подстилки в большинстве случаев тесно взаимосвязаны. Высокий уровень корреляции металлов в торфяных субстратах установлен также рядом авторов (Jia et al., 2006; Bao et al., 2019). Согласно табл. 3, в прямой связи друг с другом состоят тяжелые металлы Fe, Cu, Ni, Pb, Co, Cr, Pb ($r = 0.80–0.98$), подобным образом взаимосвязаны K, Ca, Mg, Zn, Mn ($r = 0.69–0.98$). В то же время металлы выявленных совокупностей находятся между собой в антагонистических отношениях, то есть достоверно отрицательно коррелируют.

С целью редукции переменных в оценке структуры взаимосвязей металлов с размерами дериватов выполнили факторный анализ, основная идея которого – объединение коррелированных переменных и выделение скрытых общих факторов, объясняющих связи между наблюдае-

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в морфометрических фракциях (дериватах) торфянистой подстилки травяно-мшистого березняка, мг/кг

Элементы	Размеры морфометрических фракций, мм								m^*	Cv, %
	>10	10–5	5–3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	<0.25		
Pb	7.58	14.81	16.05	7.7	16.97	16.73	16.4	17.44	12.97	29
Fe	1430	3860	4440	3660	5250	7350	9130	8430	4200.6	49
Al	710	3000	3370	2650	4180	8800	9380	10390	3613.5	69
Cu	5.74	6.69	6.8	6.92	6.97	7.89	7.77	8.75	6.76	13
Co	1.45	2.59	2.89	3.14	3.65	4.68	4.92	4.88	2.92	35
Ni	2.82	4.76	5.01	5.49	5.83	7.73	6.05	7.74	4.95	28
Cr	3.84	4.11	4.23	5.15	5.03	5.86	5.39	7.6	4.63	23
Mn	1030	390	300	270	240	210	230	220	467.7	77
Cd	0.25	0.18	0.17	0.18	0.19	0.24	0.26	0.26	0.21	20
Sr	130	220	290	200	210	420	320	380	230.0	36
Zn	71.32	42.16	39.55	37.96	40.72	56.84	61.17	65.53	50.85	26
Ca	6930	4720	4420	4340	4320	4690	5040	4350	5104.9	18
Mg	1440	730	650	660	680	820	910	880	893.4	31
K	1180	940	840	880	880	1020	1120	1080	986.5	13
Na	120	120	100	200	160	240	260	250	152.6	36

* m – средневзвешенное содержание, Cv – коэффициент вариации.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Пирсона макро- и микроэлементов

	Cu	Zn	Ni	Pb	Co	Cr	Cd	Fe	Mn	Sr	Al	K	Na	Ca	Mg
Cu		–0.25	0.97	0.80	0.96	0.93	0.09	0.95	–0.86	0.92	0.95	–0.31	0.84	–0.79	–0.66
Zn	–0.25		–0.37	–0.38	–0.26	–0.04	0.90	–0.17	0.69	–0.19	–0.03	0.98	0.05	0.79	0.89
Ni	0.97	–0.37		0.81	0.96	0.89	–0.01	0.90	–0.90	0.92	0.90	–0.43	0.81	–0.84	–0.74
Pb	0.80	–0.38	0.81		0.81	0.61	–0.10	0.84	–0.81	0.82	0.79	–0.44	0.48	–0.75	–0.69
Co	0.96	–0.26	0.96	0.81		0.87	0.13	0.98	–0.88	0.90	0.96	–0.30	0.89	–0.76	–0.66
Cr	0.93	–0.04	0.89	0.61	0.87		0.26	0.83	–0.68	0.80	0.89	–0.12	0.86	–0.62	–0.45
Cd	0.09	0.90	–0.01	–0.10	0.13	0.26		0.21	0.35	0.14	0.34	0.88	0.42	0.51	0.65
Fe	0.95	–0.17	0.90	0.84	0.98	0.83	0.21		–0.82	0.90	0.98	–0.21	0.86	–0.70	–0.59
Mn	–0.86	0.69	–0.90	–0.81	–0.88	–0.68	0.35	–0.82		–0.79	–0.74	0.71	–0.63	0.97	0.94
Sr	0.92	–0.19	0.92	0.82	0.90	0.80	0.14	0.90	–0.79		0.93	–0.27	0.75	–0.69	–0.59
Al	0.95	–0.03	0.90	0.79	0.96	0.89	0.34	0.98	–0.74	0.93		–0.08	0.89	–0.61	–0.47
K	–0.31	0.98	–0.43	–0.44	–0.30	–0.12	0.88	–0.21	0.71	–0.27	–0.08		0.04	0.82	0.90
Na	0.84	0.05	0.81	0.48	0.89	0.86	0.42	0.86	–0.63	0.75	0.89	0.04		–0.49	–0.35
Ca	–0.79	0.79	–0.84	–0.75	–0.76	–0.62	0.51	–0.70	0.97	–0.69	–0.61	0.82	–0.49		0.98
Mg	–0.66	0.89	–0.74	–0.69	–0.66	–0.45	0.65	–0.59	0.94	–0.59	–0.47	0.90	–0.35	0.98	

Примечание. Коэффициенты корреляции >0.72, значимые на уровне $\alpha < 0.05$.

мыми признаками. Сочли возможным установить пять факторов: максимальное число выделяемых факторов может быть равно числу переменных (Халафян, 2007). В таблице 4 приведены собственные числа факторов – дисперсии, объясненные последовательными факторами. Как видно, пять факторов кумулятивно объясняют 99.7%

общей дисперсии. Из них – первый фактор – 57%, второй – 37%, все последующие от 2.4 до 1% дисперсии. Для оптимального решения вопроса о редукции переменных воспользовались критерием Кайзера и выбрали факторы с собственными значениями больше единицы, сохранив только два (Ким и др. 1989). Рассмотрим полученное ре-

Таблица 4. Факторные нагрузки и собственные числа выделенных факторов

Химические элементы, оценка факторов	Номера выделенных факторов				
	1	2	3	4	5
Pb	0.86*	−0.51	−0.02	0.06	0.00
Fe	0.97*	0.14	−0.11	0.00	0.17
Al	0.96*	0.26	0.01	−0.03	0.04
Cu	0.97*	0.06	0.24	−0.06	0.03
Co	0.98*	0.05	−0.01	0.16	0.10
Ni	0.95*	−0.11	0.20	0.13	−0.16
Cr	0.83*	0.18	0.52	0.04	0.01
Mn	−0.80*	0.57	0.02	−0.11	−0.10
Cd	0.42	0.91*	0.00	0.05	0.01
Sr	0.93*	0.06	−0.07	−0.13	−0.34
Zn	0.13	0.98*	0.09	−0.11	−0.05
Ca	−0.61	0.77*	−0.17	−0.02	−0.07
Mg	−0.41	0.91*	0.02	−0.05	−0.06
K	0.06	0.99*	−0.02	−0.06	0.09
Na	0.18	0.88*	0.07	0.42	0.06
Дисперсия выделенных факторов	8.51	5.62	0.36	0.31	0.15
% от общей дисперсии	56.74	37.46	2.38	2.09	1.03
Кумулятивная дисперсия	8.51	14.13	14.49	14.80	14.95
Кумулятивный, %	56.74	94.20	96.58	98.67	99.70

* Коэффициенты корреляции, значимые на уровне $\alpha < 0.05$.

шение с точки зрения содержательной интерпретации. Обратимся к корреляционной связи между выделенными факторами и переменными. Из табл. 4 следует, что существует высокая факторная нагрузка по переменным обеих групп. При этом фактор 1 коррелирует, главным образом, с тяжёлыми металлами — Pb, Fe, Cu, Co, Ni, Cr, Mn, Sr и Al. Фактор 2 — со щелочными, щелочноземельными элементами Na, K, Mg, Ca и металлами с выраженными амфотерными свойствами Zn и Cd. Следовательно, состав минеральной компоненты торфянистой подстилки по мере деструкции растительных остатков определяется изменчивостью содержания тяжёлых металлов и алюминия на 57%, щелочных, щелочноземельных Cd и Zn — на 37%.

Чтобы ответить на вопрос, существует ли стабильность в изменении минеральных компонентов подстилки вследствие деструкции растительного материала, воспользовались методом древовидной кластеризации, цель которой — объединение объектов в классы, при этом применили меру сходства или расстояние между объектами. Согласно рис. 2а, дериваты торфянистой подстилки по содержанию химических элементов четко объединились в три кластера: >10 мм, (10–1) и (1– <0.25) мм. Меру близости выделенных кластеров оценили, используя квадраты расстояния Махаланобиса в

дискриминантном анализе. Кластер хорошо сохранившихся растительных остатков размером >10 мм наиболее удален от объединенных фрагментов (1– <0.25) мм и приближен к (10–1) мм. Квадраты расстояния Махаланобиса — 310–174 соответственно. Достоверность различий — $p < 0.001$. Попадание в соответствующую группу — 100%.

Сходство выделенных кластеров проиллюстрируем заданными точками в исходном пространстве признаков с помощью метода многомерного шкалирования, позволяющего максимально сохранить реальные расстояния между ними (рис. 2б). Эффективность разбиения объектов характеризует ясность полученной конфигурации и величину критерия согласия, стресс — 0.0000019 (чем меньше значения стресса, тем лучше матрица исходных расстояний согласуется с матрицей результирующих расстояний). Выполненная группировка растительных фрагментов соответствует в определённой мере их количественному содержанию в подстилке и морфологическому облику. На этом основании с определённым допущением можно соотнести выделенные кластеры растительных фрагментов >10 мм, (10–1) и (1– <0.25) мм с подгоризонтами подстилки — L (листовым), F (ферментативным) и H (гумифицированным) соответственно. С целью выявления показателей, вносящих наибольший вклад в прогнозирование

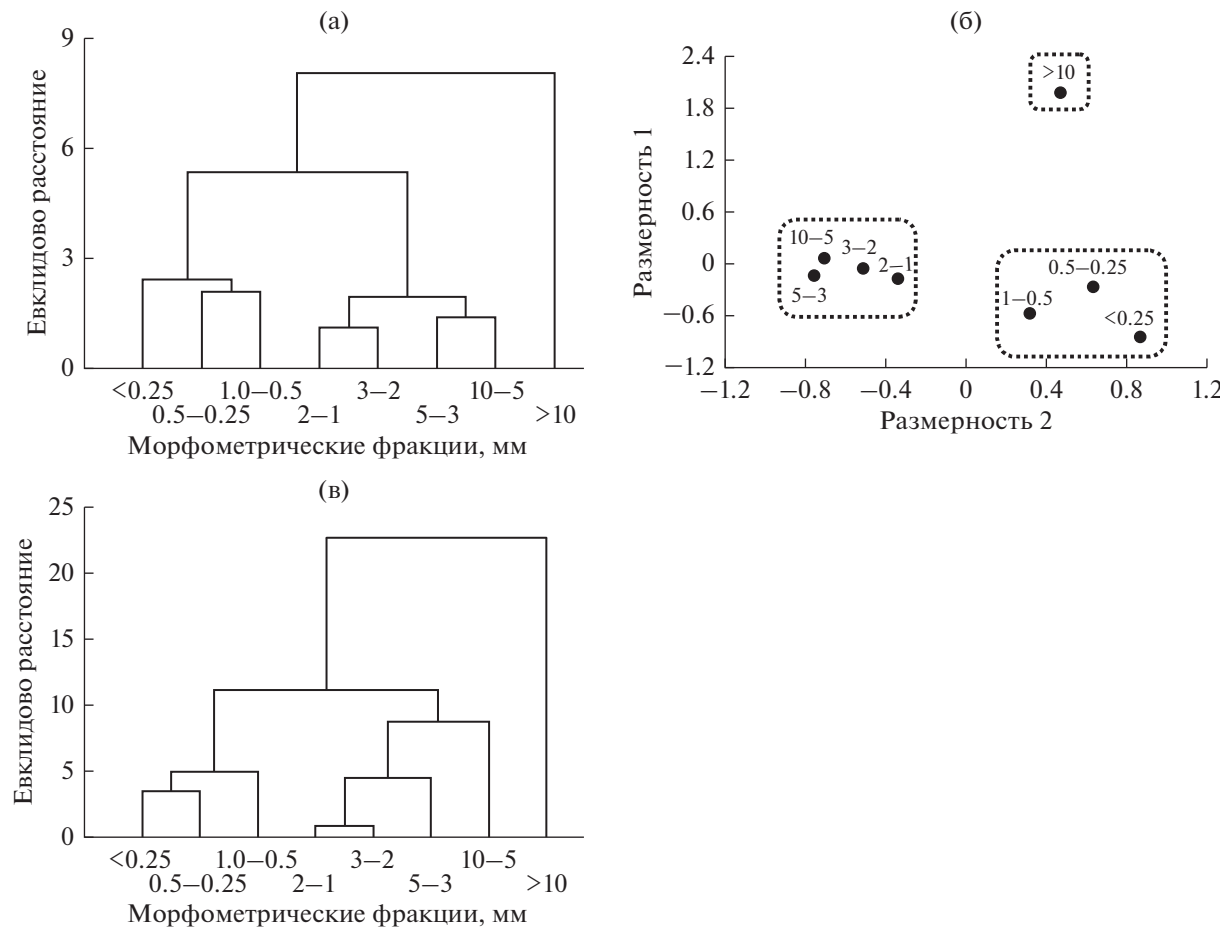


Рис. 2. Дендрограмма морфометрических фракций по содержанию макро- и микроэлементов (а) и размещение на плоскости в многомерном пространстве признаков (б), группировка морфометрических фракций по гумусному состоянию (в).

принадлежности растительных остатков к выделенным кластерам, и сохранения только важных переменных в модели выполнили дискриминантный анализ (табл. 5). Согласно статистическим оценкам, лучшими дискриминаторами группировок растительных фрагментов являются Al и Ca.

Кластеры растительных фрагментов, организованные по размерам на основании содержания макро- и микроэлементов, соответствуют их группировке по совокупности показателей гумусного состояния (рис. 2в), выполненной ранее (Ефремова

и др., 2009). Как следует из рисунка 3, по мере деструкции лесного опада последовательно нарастает степень его биохимического преобразования. В сгруппированных частицах (1–<0.25 мм) относительно дериватов >10 мм сужается отношение С/Н в 1.7 раза, что косвенно свидетельствует о повышении биологической активности и подтверждается снижением количества полисахаридов на 35% (рис. 3а). Согласно рис. 3б, в мелких фракциях по сравнению с крупными фрагментами степень гумификации (Σ ГК + ФК) повышает-

Таблица 5. Показатели дискриминации морфометрических фракций торфянистой подстилки по содержанию макро- и микроэлементов

Дискриминаторы	Лямбда Уилкса	Частичная лямбда Уилкса	F-критерий	p-уровень	Толерантность (T)	R ² (1–T)
Статистическая оценка модели дискриминации: Лямбда Уилкса = 0.0007, F-критерий = 109, p-уровень < 0.001						
Al	0.0293	0.0243	120.44	0.000014	0.744	0.256
Ca	0.0205	0.0347	83.44	0.000042	0.744	0.256

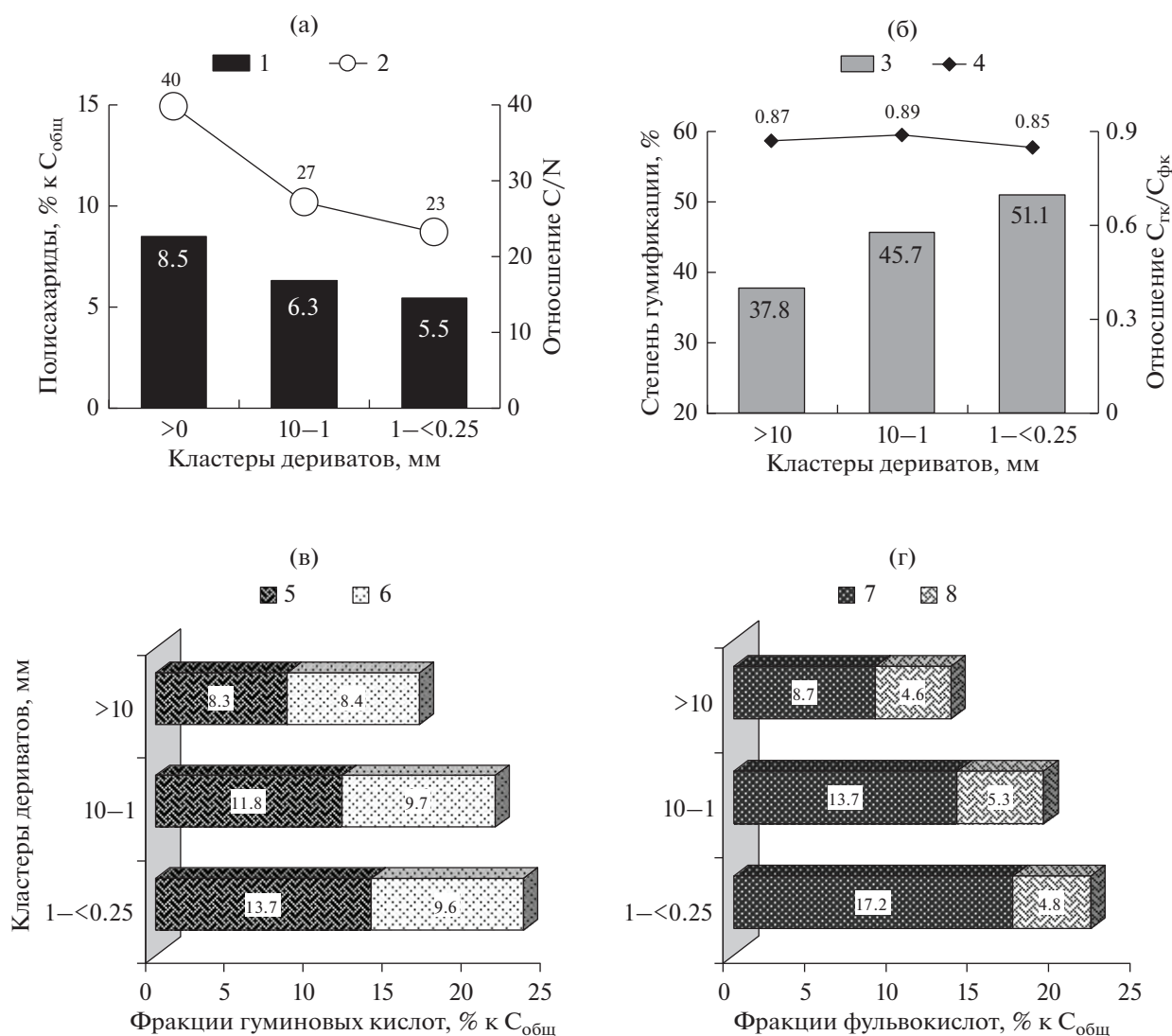


Рис. 3. Групповой и фракционный состав органического вещества кластеров морфометрических фракций (дериватов) торфянистой подстилки: а – показатели биологической активности, б – гумусное состояние, в – фракции гуминовых кислот, г – фракции фульвокислот. 1 – содержание полисахаридов 2 – отношение C/N , 3 – степень гумификации ($\Sigma \text{ГК} + \Sigma \text{ФК}$), 4 – отношение $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$, 5 – содержание ГК-1, 6 – содержание ГК-3, 7 – содержание ФК-1, 8 – содержание ФК-3.

ся с 37.8 до 51.1%. Это обусловлено почти двукратным увеличением содержания как гуминовых, так и фульвокислот первой фракции (рис. 3в, 3г). В процессе диспергирования растительных остатков незначительно повышается и содержание гумусовых кислот 3-й фракции. Тип гумуса, согласно отношению $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ 0.85–0.89, сохраняется гуматно-фульватным независимо от степени трансформации субстрата.

Формирование органических кислот из промежуточных продуктов разложения растительных остатков в результате биохимического окислительного кислотообразования – первый элементарный процесс гумификации (Александрова, 1980). На

начальном этапе осуществляется также взаимодействие гумусовых кислот с минеральной частью. Формы этого взаимодействия и одновременно протекающих реакций многообразны: образование солей и комплексных соединений, явления хемосорбции и адсорбции, сочетание пептизации и коагуляции, адгезии и когезии, что сопровождается формированием различных по составу органо-минеральных соединений как неперменного звена любого типа почвообразования (Орлов, 1990). Комплексообразователями служат металлы переменной валентности или с выраженными амфотерными свойствами – Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Fe, Mn, Al (Александрова, 1980). образу-

ющиеся металло-гумусовые соединения при всем своем многообразии подразделяются на две категории — мигрирующие или аккумулирующиеся в профиле почвы. Нерастворимые осадки с катионами железа, алюминия и двухвалентными катионами образуют гуминовые кислоты, нерастворимые соединения в определенных диапазонах pH дают и фульвокислоты, однако существуют большой разброс найденных параметров и очень слабая привязка к условиям почвообразования (Орлов, 1990).

С изложенных позиций обсудим содержание макро- и микроэлементов в дериватах торфянистой подстилки. В общем плане оно обусловлено размерностью растительных фрагментов, степенью их биохимического преобразования и гумификации. При этом распределение металлов, объединенных фактором 1 (тяжелые металлы) и фактором 2 (щелочные, щелочноземельные элементы, Zn и Cd), в дериватах различной размерности характеризуется противоположной направленностью.

Тяжелые металлы как элементы-комплексобразователи последовательно накапливаются по мере распада растительных остатков в соответствии с возрастанием степени их гумификации (рис. 4а, 4б). В отличие от поливалентного марганца, количество которого в гранулометрических фракциях ($1 < 0.25$ мм) снижается до 220 относительно 1030 мг/кг в дериватах > 10 мм. Среди тяжелых металлов марганец обладает самой низкой способностью к комплексообразованию, образующиеся органические комплексы неустойчивы и энергично мигрирует в кислых ландшафтах заболоченных аккумулятивных равнин в простой катионной форме Mn^{2+} (Перельман, Касимов, 1999). Активнее всего концентрируются алюминий и железо, количество которых возрастает — в 13 и 6 раз соответственно, что подтверждает результаты модельных лабораторных опытов по мобилизации минеральных компонентов гумусовыми веществами. Показано: количество железа, связываемого гумусовыми кислотами, меньше по сравнению с алюминием, образующиеся гуминовые комплексы устойчивы и выпадают в твердую фазу на месте своего образования (Александрова, 1980). Аккумуляция микроэлементов не столь масштабна. Тем не менее в процессе преобразования лесной подстилки наиболее гумифицированные растительные фрагменты ($1-0.25$ мм) обогащаются на 56–70% — Co, Sr, Ni, Pb, на 29–39% — Cr и Cu по сравнению Fe, Al — 83–93%.

Щелочные, щелочноземельные элементы и металлы с амфотерными свойствами (Zn и Cd) энергично мигрируют по мере распада растительных остатков (рис. 4в). Наиболее интенсивно процесс мобилизации протекает в морфометри-

ческих фракциях ($10-1$ мм), адекватных в той или иной степени ферментативному слою активного разложения дериватов. Важную роль на этой стадии выщелачивания играет карбонатное равновесие. Процесс распада сопровождается обильным выделением CO_2 , при его растворении появляется анион HCO_3^- , который с металлами образует растворимые гидрокарбонатные соли. Кислое выщелачивание сопровождается снижением количества Na, Ca, Mg, Zn вдвое, K и Cd — в 1.4 раза. Интенсивность мобилизации металлов из наиболее гумусированных растительных фрагментов ($1 < 0.25$ мм) несколько замедляется, вероятно, за счет формирования некоторой части нерастворимых гуматов, в соответствии с итогами модельных лабораторных опытов, изложенными выше по литературным данным. Интенсивность выноса в большей мере снижается у K за счет биогенного поглощения, у Zn — вследствие формирования нерастворимых фульватных комплексов. На уровень крупных морфометрических фракций возвращается содержание Cd в результате дополнительной сорбции Al-Fe-гумусовыми комплексами. Натрий, соединения которого отличаются высокой растворимостью, активно мигрирует на всех стадиях распада растительных остатков. По мере деструкции лесного опада в условиях кислой среды из подстилки выщелачивается 55% натрия, 32–40% кальция, магния, 9% калия и 14% цинка. Установлено: в исследуемых березняках Еловочного болота кальций активно поступает в почвенные растворы и выносится с дренажными водами за пределы, однако определенная его часть закрепляется биогенным путем (Мелентьева, 1980). Свидетельством тому служит повышенное содержание кальция в листьях березы — 1.45% относительно осок — 0.93% и сфагновых мхов — 0.25% и некоторая концентрация элемента в торфяных горизонтах непосредственно под подстилкой 4(5)–10(12) см.

Торфяно-болотные экосистемы, представляя собой механический, кислородный, биогенный и сорбционный геохимический барьер, накапливают многие химические элементы и считаются высокоинформативными объектами для организации мониторинга техногенных изменений окружающей природной среды. Изучаемые болотные березняки, безусловно, подвержены аэротехногенным выбросам промышленных агломераций Томской, Новосибирской областей, масштабное хозяйственное освоение которых сопровождается повышенным объемом антропогенных нагрузок на природную среду.

Оценку техногенного геохимического давления на подстилку выполнили, рассчитав суммарный показатель загрязнения по формуле Саета (Сае и др., 1990):

$$Zc = \sum Kc - (n - 1),$$

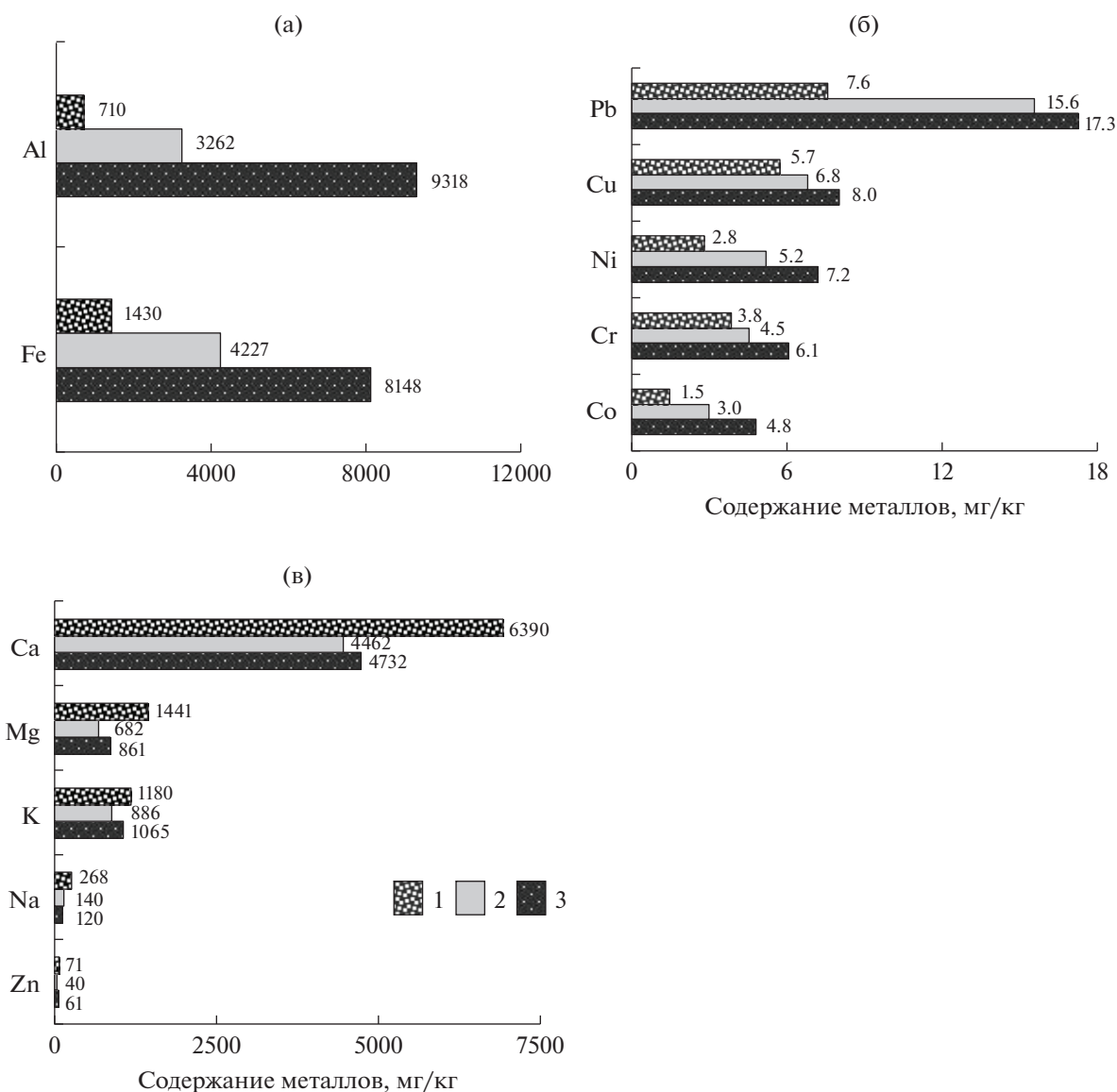


Рис. 4. Содержание в кластерах морфометрических фракций торфянистой подстилки полуторных оксидов – (а), микро-элементов – (б), щелочных, щелочноземельных металлов и Zn – (в). Кластеры морфометрических фракций: 1 – >10 мм, 2 – 10–1 мм, 3 – 1–<0.25 мм.

где Z_c – суммарный показатель загрязнения, K_c – коэффициент техногенной концентрации больше 1, n – число элементов с K_c больше 1.

Техногенные концентрации определяются, как известно, относительно геохимического фона. В болотных экосистемах природный фон тяжелых металлов сильно дифференцирован, и пока нет разработанных жестких критериев ни по регионам, ни по типам торфяных почв, что утверждают и другие авторы (Московченко, 2006; Безносиков и др., 2007). За фон приняты малонаселенную, расположенную вдали от локальных техногенных источников территорию междуречья Бакчара и Иксы в юго-восточной части Васюганской лесо-болотной равнины (Инишева, Цыбу-

кова, 1999). Согласно шкале ориентировочной оценки, суммарный показатель характеризует средний, умеренноопасный уровень загрязнения торфянистой подстилки болотных березняков (табл. 6).

В составе токсикантов доминируют Zn и Pb (элементы I класса опасности). Почти половина техногенных потоков Pb и Zn, насколько известно, поступает в природную среду при выплавке цветных и черных металлов, добыче полиметаллических руд, существенна также роль автотранспорта в загрязнении среды. Немаловажное значение имеет близость Кузбасского каменноугольного бассейна. По мнению Я.Э. Юдовича, в золе углей концентрируется в сотни и тысячи раз

Таблица 6. Оценка загрязнения тяжелыми металлами торфянистой подстилки травяно-мшистого болотного березняка

Количественные показатели	Элементы-токсиканты, класс опасности							Показатели загрязнения		Оценка уровня загрязнения
	I			II			III	Zc	доля Zn, Pb, %	
	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Co	Mn			
Фон, мг/кг*	6.5	3.1	0.29	7	6.7	1.1	74.7	18	67	Средний, умеренно опасный
$\bar{x}$, мг/кг	50.8	13.0	0.21	6.76	4.95	2.92	468			
Kc	7.8	4.2	0.7	1.0	0.7	2.7	6.3			

* Содержание элементов определено атомно-адсорбционным методом, $\bar{x}$ — средневзвешенное содержание, Kc — коэффициент аномальности, Zc — суммарный показатель загрязнения. Класс опасности: I — высокий, II — умеренный, III — малоопасный (ГОСТ 17.4.1.02–83).

больше — Pb, Zn, Cu, Mo, Sn, Be, Hg по сравнению с другими осадочными породами (цит. по: Перельман, Касимов, 1999). Zn и Pb в гумидной зоне относятся к числу наиболее распространенных загрязнителей, а потенциальная опасность высокой интоксикации свинцом в большей мере присуща кислым почвам с периодическим восстановительным режимом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Запасы макро- и микроэлементов в подстилке березняков травяно-мшистых групп типов леса в северной части междуречья Оби и Томи составляют следующий нисходящий ряд: $\text{Ca}_{146} > \text{Fe}_{120} > \text{Al}_{103} > \text{K}_{28.2} > \text{Mg}_{25.6} > \text{Mn}_{13.4} > \text{Sr}_{6.6} > \text{Na}_{4.4} > \text{Zn}_{1.5} > \text{Pb}_{0.37} > \text{Cu}_{0.19} > \text{Ni}_{0.14} > \text{Cr}_{0.13} > \text{Co}_{0.084} > \text{Cd}_{0.006}$, кг/га.

Использование методов многомерного статистического анализа позволило объективно доказать, что по мере деструкции растительных остатков происходит континуально-дискретное биохимическое преобразование минеральной компоненты торфянистой подстилки, которое на 57% определяется совокупным влиянием тяжелых металлов и на 37% — преимущественно влиянием щелочно-земельных и щелочных.

Стадии метаморфоза дискриминируются формализованными растительными фрагментами >10 мм, (10–1) и (1–<0.25) мм, которые приблизительно соответствуют листовому, ферментативному и гумифицированному подгоризонтам подстилки. Наилучшее предсказание выполняет линейная комбинация алюминия и кальция. По мере распада растительных остатков тяжелые металлы накапливаются в кластере наиболее гумусированных фрагментов (1–<0.25) мм, щелочные и щелочноземельные металлы, лишь частично сорбируясь в данном кластере, мигрируют за пределы торфяной залежи. Распределение минеральных компонентов в кластерах дериватов согласуется с состоянием их органического вещества.

Кластер наиболее мелких морфометрических фракций (1–<0.25) мм значительно богаче гумифицированными веществами. Торфянистые подстилки болотных березняков междуречья Оби и Томи характеризуются средним, умеренно опасным уровнями загрязнения. Формализованная группировка стадий преобразования лесного опада по накоплению металлов в растительных фрагментах подтверждает объективность лесоводственно-морфологических принципов диагностики подстилок на основе визуальных и морфометрических оценок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
- Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 288 с.
- Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах европейского северо-востока России // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070.
- Бернатонис В.К., Архипов В.С., Здвижков М.А., Прейс Ю.И., Тихомирова Н.О. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота. Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Томск: Институт оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 204–215.
- Богатырев Л.Г., Демин В.В., Матышак Г.В., Сапожникова В.А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
- Богатырев Л.Г., Алябина И.О., Маречек М.С., Самсонова В.П., Кириченко А.В., Коновалов С.Н. Подстилка и гумусообразование в лесных формациях Камчатки // Лесоведение. 2008. № 3. С. 28–38.
- Богущ А.А., Бобров В.А., Климин М.А., Бычинский В.А., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Кондратьева Л.М., Прейс Ю.И. Особенности формирования отложений и концентрирования элементов в профиле торфяника Выдринский (Южное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 2. С. 194–208. <https://doi.org/10.15372/GiG2019012>

- Василевич Р.С. Макро- и микроэлементный состав мерзлотных бугристых торфяников лесотундры европейского северо-востока России // Геохимия. 2018. № 12. С. 1158–1172.
- ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 4 с.
- Ефремова Т.Т., Аврова А.Ф., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Стадийность трансформации органического вещества подстилок болотных березняков // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1203–1212.
- Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Эколого-геохимическая оценка уровней загрязнения тяжелыми металлами и серой бугристых торфяников юга Таймыра // Сибирский экологический журн. 2014. № 6. С. 965–974.
- Железнова О.С., Тобратов С.А. Роль растительности в регулировании потоков тяжелых металлов в подтаежных лесных экосистемах центра Восточно-Европейской равнины // Лесоведение. 2021. № 1. С. 11–27.
- Инишева Л.И., Цыбукова Т.Н. Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 45–51.
- Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
- Леонова Г.А., Мальцев А.Е., Бадмаева Ж.О., Шавекин А.С., Рубанов М.В., Преис Ю.И. Геоэкологическая оценка степени антропогенного загрязнения тяжелыми металлами экосистем верховых болот лесостепной зоны Западной Сибири // Экология промышленного производства. 2018. № 2(102). С. 64–73.
- Лесной фонд России (по данным государственного учёта лесного фонда по состоянию на 1 января 1998 г.). Справочник. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. 650 с.
- Липатов Д.Н., Щеглов А.И., Манахов Д.В., Карпунин М.М., Завгородняя Ю.А., Цветнова О.Б. Распределение тяжелых металлов и бенз(а)пирена в торфяных олиготрофных почвах и торфяно-глеоземах на северо-востоке о. Сахалин // Почвоведение. 2018. № 5. С. 551–562.
- Мелентьева Н.В. Почвы осушенных лесных болот. Новосибирск: Наука. 1980. 128 с.
- Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 63–70.
- Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
- Пономарева В.В., Николаева Т.А. Методы изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах // Почвоведение. 1961. № 5. С. 88–95.
- Пьявченко Н.И., Корнилова Л.И. О диагностических показателях типов торфа // Почвоведение. 1978. № 10. С. 146–153.
- Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
- Сапожников А.П. Лесная подстилка — номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96–105.
- Тарханов С.Н. Содержание серы и тяжелых металлов в хвойных насаждениях бассейна Северной Двины при аэротехногенном загрязнении // Лесоведение. 2011. № 3. С. 26–33.
- Федорец Н.Г., Солодовников А.Н. Воздействие эмиссий Костомукшского горно-обогатительного комбината на лесные подстилки сосняков в северотаежной подзоне Карелии // Труды Карельского научного центра. 2013. № 6. С. 143–152.
- Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник. 3-е изд. М.: ООО “Бином-Пресс”, 2007. 515 с.
- Щеглов А.И., Цветнова О.Б., Богатырев Л.Г. Экологическая роль лесных подстилок в миграции техногенных загрязнителей // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2005. С. 248–268.
- Bao K., Wang G., Jia L., Xing W. Anthropogenic impacts in the Changbai Mountain region of NE China over the last 150 years: geochemical records of peat and altitude effects // Environmental Science and Pollution Research. 2019. V. 26. № 8. P. 7512–7524.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04138-w>
- Bao K., Wang G., Pratte S., Mackenzie L., Klamt A.M. Historical variation in the distribution of trace and major elements in a poor fen of Fenghuang Mountain, NE China // Geochemistry International. 2018. V. 56. № 10. P. 1003–1015.
- Ernst W.H.O. Evolution of metal tolerance in higher plants // Forest Snow & Landscape Research. 2006. V. 80. № 3. P. 251–274.
- Fiakiewicz-Kozie B., Smieja-Król B., Palowski B. Heavy metal accumulation in two peat bogs from southern Poland // Studia Quaternaria. 2011. V. 28. P. 17–24.
- Jia L., Wang G., Liu J. Distribution and implications of the elements of peat profiles in the Jinbei bog of the Changbai Mountains // Wetland Sci. 2006. № 4. P. 187–192. (in Chinese with English abstract)
- Mayer P.M. Ecosystem and decomposer effects on litter dynamics along an old field to old-growth forest successional gradient // Acta Oecologica. 2008. V. 33. № 2. P. 222–230.
- Maestri E., Marmiroli M., Visioli G., Marmiroli N. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment // Environmental and Experimental Botany. 2010. V. 68. № 1. P. 1–13.
- Orru H., Orru M. Sources and distribution of trace elements in Estonian peat // Global and Planetary Change. 2006. V. 53. P. 249–258.
- Rausch N., Nieminen T., Ukonmaanaho L., Le Roux G., Krachler M., Cheburkin A.K., Bonani G., Shotyk W. Comparison of atmospheric deposition of copper, nickel, cobalt, zinc, and cadmium recorded by Finnish peat cores with monitoring data and emission records // Environmental Science and Technology. 2005. V. 39. P. 5989–5998.
- Shotyk W. Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb, and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland // Water Air Soil Pollut. 1996. V. 90. P. 375–405.
- Sofo A., Scopa A., Remans T., Vangronsveld J., Cuypers A. Biochemical and functional responses of *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium, copper and zinc // The plant family Brassicaceae: contribution towards phytoremediation. 2012. V. 21. P. 239–263.

Geochemical Peculiarities of the Peat Litter's Morphometric Fractions in the Swamp Birch Forests of Western Siberia's Southern Taiga

T. T. Efremova^{1, *}, S. P. Efremov¹, and A. F. Avrova¹

¹Forest Institute of the Siberian Branch of the RAS, Akademgorodok, 50, bldg. 28, Krasnoyarsk, 660036 Russia

*E-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Peat litter of moss-woody composition was studied in swamp birch (*Betula pubescens* Ehrh.) forests of the grass-mossy forest types in the northern part of the Ob and Tom interfluvium (geographical coordinates N 56°23'18", E 84°32'51"). The litter samples are characterized by a low base saturation of 35.6%; an acid reaction (pH_{H₂O} 4.0); and an ash content of 8.9%. The average content of macro- and microelements forms the following descending series, mg/kg: Ca₅₁₀₅ > Fe₄₂₀₁ > Al₃₆₁₄ > K₉₈₆ > Mg₈₉₃ > Mn₄₆₈ > Sr₂₃₀ > Na₁₅₃ > Zn₅₁ > Pb₁₃ > Cu_{6.8} > Ni₅ > Cr_{4.6} > Co_{2.9} > Cd_{0.2}. According to the factor analysis, the mineral component composition of the litter during the plant residues destruction is 57% determined by the variability of the heavy metals content, 37% by the content of alkali, alkaline earth, Zn and Cd. Using the tree clustering method, the morphometric fractions of plant fragments (derivatives) were organized as follows: >10 mm, [(10–5) + (5–3) + (3–2) + (2–1)] and [(1–0.5) + (0.5–0.25) + <0.25] mm. Discriminant analysis showed 100% fit in the corresponding group. Al and Ca make the greatest contribution to the prediction. As plant fragments decompose, heavy metals and aluminium gradually accumulate while alkali and alkaline earth metals get washed away, the processes being most active at the fermentation stage. The distribution of mineral components in litter derivatives is consistent with their humus state. In small morphometric fractions, compared to large fragments, the ratio (ΣHA + ΣFA)/polysaccharides expands, the C/N value gets lower, humic and fulvic acids accumulation occurs mainly for the 1st fraction ones. Peat litter is characterized by an average, moderately dangerous level of pollution: the total pollution index (Zc) is 18. The toxicants composition is dominated by Pb and Zn – chemical elements of the hazard class I.

Keywords: mesotrophic birch forests, derivatives, macro- and microelements, humus state, total pollution index, multivariate statistical analysis.

REFERENCES

- Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* (Agrochemical techniques of soil studies), Moscow: Nauka, 1975, 656 p.
- Aleksandrova L.N., *Organicheskoe veshchestvo pochvy i protsessy ee transformatsii* (Organic matter of soils and the soil transformation), Leningrad: Nauka, 1980, 287 p.
- Bao K., Wang G., Jia L., Xing W., Anthropogenic impacts in the Changbai Mountain region of NE China over the last 150 years: geochemical records of peat and altitude effects, *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, Vol. 26, No. 8, pp. 7512–7524.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04138-w>
- Bao K., Wang G., Pratte S., Mackenzie L., Klamt A.M., Historical variation in the distribution of trace and major elements in a poor fen of Fenghuang Mountain, NE China, *Geochemistry International*, 2018, Vol. 56, No. 10, pp. 1003–1015.
- Bernatonis V.K., Arkhipov V.S., Zdvizhkov M.A., Preis Y.I., Tikhomirova N.O., *Geokhimiya rastenii i torfov Bol'shogo Vasyuganskogo bolota. Bol'shoye Vasyuganskoye boloto. Sovremennoye sostoyaniye i protsessy razvitiya* (Geochemistry of plants and peat in the Great Vasyugan swamp. Big Vasyugan swamp. Current state and development processes), Tomsk: Institut optiki atmosfery SO RA, 2002, pp. 204–215.
- Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Kondratenok B.M., Assessment of background concentrations of heavy metals in soils of the Northeastern part of European Russia, *Eurasian Soil Science*, 2007, Vol. 40, No. 9, pp. 949–955.
- Bogatyrev L.G., Alyabina I.O., Marechek M.S., Samsonova V.P., Kirichenko A.V., Konovalov S.N., Podstilka i gumusobrazovanie v lesnykh formatsiyakh Kamchatki (Litter and Humus Formation in Forests of Kamchatka), *Lesovedenie*, 2008, No. 3, pp. 28–38.
- Bogatyrev L.G., Demin I.I., Matyshak G.V., Sapozhnikova V.A., O nekotorykh teoreticheskikh aspektakh issledovaniya lesnykh podstilok (On some theoretical aspects of studying forest litters), *Lesovedenie*, 2004, No. 4, pp. 17–30.
- Bogush A.A., Bobrov V.A., Klimin M.A., Bychinskii V.A., Leonova G.A., Krivonogov S.K., Kondrat'eva L.M., Preis Y.I., Osobennosti formirovaniya otlozhenii i kontsentrirvaniya elementov v profile torfyani Vaydrinskii (Yuzhnoe Pribaikal'e) (Sedimentation and Accumulation of Elements in the Vydrino Peat Bog (southern Baikal region)), *Geologiya i geofizika*, 2019, Vol. 60, No. 2, pp. 194–208.
- Efremova T.T., Avrova A.F., Efremov S.P., Melent'eva N.V., Stages of litter transformation in bog birch forests, *Eurasian Soil Science*, 2009, Vol. 42, No. 10, pp. 1120–1129.
- Efremova T.T., S.P. E., Ecological and geochemical assessment of heavy-metal and sulfur pollution levels in hilly peatbogs of Southern Taimyr, *Contemporary Problems of Ecology*, 2014, Vol. 7, No. 6, pp. 685–693.
- Ernst W.H.O., Evolution of metal tolerance in higher plants, *Forest Snow & Landscape Research*, 2006, Vol. 80, No. 3, pp. 251–274.
- Fedorets N.G., Solodovnikov A.N., Vozdeistvie emissii Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na lesnye podstilki sosnyakov v severotaezhnoi podzone Karelii (Impact of the Kostomuksha mining and processing plant emissions on the forest litters in pine forests of the Northern taiga subzone of Karelia), *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra*, 2013, No. 6, pp. 143–152.

- Fiakiewicz-Kozie B., Smieja-Król B., Palowski B., Heavy metal accumulation in two peat bogs from southern Poland, *Studia Quaternaria*, 2011, Vol. 28, pp. 17–24.
- GOST 17.4.1.02-83. *Okhrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya* (Protection of Nature. Soils. Classification of chemicals for pollution control), Moscow: Standartinform, 2008, 4 p.
- Inisheva L.I., Tsybukova T.N., Ekologo-geokhimicheskaya otsenka torfov yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoi ravniny (Ecological and geochemical assessment of peat in the southeast of the West Siberian Plain), *Geografiya i prirodnye resursy*, 1999, No. 1, pp. 45–51.
- Jia L., Wang G., Liu J., Distribution and implications of the elements of peat profiles in the Jinbei bog of the Changbai Mountains, *Wetland Sci*, 2006, No. 4, pp. 187–192. (in Chinese with English abstract)
- Khalafyan A.A., *STATISTICA 6. Statisticheskii analiz dannykh* (STATISTICA 6. Statistic analysis of data), Moscow: ООО “Binom-Press”, 2007, 515 p.
- Kim D.-O., M’yuller C.U., Klekka U.R., Oldenderfer M.S., Bleshfild R.K., *Faktornyi, diskriminantnyi i klasternyi analiz* (Factor, discriminant and cluster analysis), Moscow: Finansy i statistika, 1989, 215 p.
- Leonova G.A., Mal’tsev A.E., Badmaeva Z.O., Shavekin A.S., Rubanov M.V., Preis Y.I., Geoekologicheskaya otsenka stepeni antropogennogo zagryazneniya tyazhelymi metallami ekosistem verkhovykh bolot lesostepnoi zony Zapadnoi Sibiri (Geoecological assessment of the degree of anthropogenic pollution by heavy metals of the ecosystems of the upper mires of the forest-steppe zone of Western Siberia), *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2018, No. 2(102), pp. 64–73.
- Lesnoi fond Rossii* (Forest resource of Russia), Moscow: VNIITslesresurs, 1999, 650 p.
- Lipatov D.N., Shcheglov A.I., Manakhov D.V., Karpukhin M.M., Zavgorodnyaya Y.A., Tsvetnova O.B., Distributions of heavy metals and benzo[a]pyrene in oligotrophic peat soils and peat gleyzems of Northeastern Sakhalin, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 51, No. 5, pp. 518–527.
- Maestri E., Marmiroli M., Visioli G., Marmiroli N., Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment, *Environmental and Experimental Botany*, 2010, Vol. 68, No. 1, pp. 1–13.
- Mayer P.M., Ecosystem and decomposer effects on litter dynamics along an old field to old-growth forest successional gradient, *Acta Oecologica*, 2008, Vol. 33, No. 2, pp. 222–230.
- Melent’eva N.V., *Pochvy osushennykh lesnykh bolot* (Soils of the drained forest mires), Novosibirsk: Nauka, 1980, 128 p.
- Moskovchenko D.V., Biogeokhimicheskie osobennosti verkhovykh bolot Zapadnoi Sibiri (Biogeochemical properties of the high bogs in Western Siberia), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2006, No. 1, pp. 63–70.
- Orlov D.S., *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii* (Soil humic acids and the general theory of humification), Moscow: Izd-vo MGU, 1990, 325 p.
- Orru H., Orru M., Sources and distribution of trace elements in Estonian peat, *Global and Planetary Change*, 2006, Vol. 53, pp. 249–258.
- Perel’man A.I., Kasimov N.S., *Geokhimiya landshafta* (Landscape geochemistry), Moscow: Astreya-2000, 1999, 768 p.
- Ponomareva V.V., Nikolaeva T.A., *Metody izucheniya organicheskogo veshchestva v torfyano-bolotnykh pochvakh* (Methods for studying organic matter in peat-bog soils), *Pochvovedenie*, 1961, No. 5, pp. 88–95.
- P’yavchenko N.I., Kornilova L.I., O diagnosticheskikh pokazatelyakh tipov torfa (About diagnostic indicators of peat types), *Pochvovedenie*, 1978, No. 10, pp. 146–153.
- Rausch N., Nieminen T., Ukonmaanaho L., Le Roux G., Krachler M., Cheburkin A.K., Bonani G., Shotyk W., Comparison of atmospheric deposition of copper, nickel, cobalt, zinc, and cadmium recorded by Finnish peat cores with monitoring data and emission records, *Environmental Science and Technology*, 2005, Vol. 39, pp. 5989–5998.
- Saet Y.E., Revich B.A., Yanin E.P., *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* (Environmental geochemistry), Moscow: Nedra, 1990, 335 p.
- Sapozhnikov A.P., Lesnaya podstilka — nomenklatura, klassifikatsiya i indeksatsiya (Forest litter — nomenclature, classification and indexing), *Pochvovedenie*, 1984, No. 5, pp. 96–105.
- Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Bogatyrev L.G., Ekologicheskaya rol’ lesnykh podstilk v migratsii tekhnogennykh zagryaznitelei (Ecological role of forest litter in the migration of technogenic pollutants), In: *Problemy radioekologii i pogranichnykh distsiplin* (Issues of radioecology and boundary disciplines), Ekaterinburg: Izd-vo Ural’skogo universiteta, 2005, pp. 248–268.
- Shotyk W., Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb, and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland, *Water Air Soil Pollut*, 1996, Vol. 90, pp. 375–405.
- Sofa A., Scopa A., Remans T., Vangronsveld J., Cuypers A., Biochemical and functional responses of *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium, copper and zinc, *The plant family Brassicaceae: contribution towards phytoremediation*, 2012, Vol. 21, pp. 239–263.
- Tarkhanov S.N., Soderzhanie sery i tyazhelykh metallov v khvoinykh nasazhdeniyakh basseina Severnoi Dviny pri aerotekhnogennom zagryaznenii (The content of sulfur and heavy metals in soils and needles of coniferous stands under aerotechnogenic pollution in the Severnaya Dvina river basin), *Lesovedenie*, 2011, No. 3, pp. 26–33.
- Vasilevich R.S., Major and trace element compositions of hummocky frozen peatlands in the forest-tundra of Northeastern European Russia, *Geochemistry International*, 2018, Vol. 56, No. 12, pp. 1158–1172.
- Zheleznova O.S., Tobratov S.A., Rol’ rastitel’nosti v regulirovanii potokov tyazhelykh metallov v podtaezhnykh lesnykh ekosistemakh tsentra Vostochno-Evropeiskoi ravniny (The vegetation role in heavy metals fluxes regulation in the sub-taiga forest ecosystems of the center of the East-European plain), *Lesovedenie*, 2021, No. 1, pp. 11–27.

УДК 632.76

РОЛЬ СТВОЛОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ИЗМЕНЕНИИ СОСТОЯНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ¹

© 2023 г. А. В. Селиховкин^а, *, Б. Г. Поповичев^а, М. Ю. Мандельштам^а, А. С. Алексеев^а^аСанкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, 194021 Россия

*E-mail: a.selikhovkin@mail.ru

Поступила в редакцию 23.01.2022 г.

После доработки 31.01.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

Опасность массовых размножений стволовых вредителей в Ленинградской области и Республике Карелии возрастает. Однако данные по состоянию их популяций на северо-западе европейской части России немногочисленны и весьма разнородны. Они включают материалы статей и обзоров санитарного и лесопатологического состояния, которые, в свою очередь, основываются на совершенно разных методических подходах к получению информации. Обобщение и анализ данных по увеличению численности стволовых вредителей, представляющих опасность для хвойных древостоев северо-запада европейской части России, с учетом материалов научных отчетов и лесопатологического мониторинга — актуальная задача данной работы. Наибольшую опасность для еловых древостоев представляет короед-типограф *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), формирующий масштабные очаги массового размножения. Основные факторы, обуславливающие начало формирования очагов размножения, — погодные условия (ураганные ветры и образование ветровалов, увеличение температуры в течение вегетационного сезона и недостаток осадков). В конце XX—начале XXI в. частоты вспышек массовых размножений стволовых вредителей, в особенности короеда-типографа, в Ленинградской области увеличились. Начиная со второй половины XX в., отмечаются вспышки размножения в Республике Карелии. В Мурманской области стволовые вредители не оказывают заметного влияния на состояние древостоев. Эти тенденции соответствуют тренду увеличения температуры в Ленинградской области и Карелии и незначительному изменению температуры в Мурманской области. Дополнительное питание сосновых лубоедов и черных усачей в случаях их массового размножения — недооцененный фактор ослабления древостоев, который существенно влияет на прирост и состояние окружающих насаждений. Появление инвазивных видов, таких как союзный короед *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Curculionidae: Coleoptera), представляет потенциальную опасность, однако в настоящее время в сосновых и еловых лесах на севере европейской части России этот вид не проявляет существенной активности.

Ключевые слова: стволовые вредители, северо-таежные леса, массовые размножения, короед-типограф, погодные условия.

DOI: 10.31857/S0024114823030099, EDN: PWDRGK

Леса Европы выполняют важнейшие экологические, экономические и социальные функции и играют первостепенную роль в смягчении возможных изменений климата, однако их состояние вызывает опасения. Более 30% пробных площадей, заложенных по территории всей Европы (рис. 1), имеют среднюю дефолиацию крон от умеренной до серьезной, то есть потери хвои (листвы) составляют от 25 до 60% (ICP-Forest Brief #5 2021). Среди выявленных причин повышенного повреждения лесов в Европе из абиоти-

ческих факторов на первом месте указаны локальные засухи, а из биотических — повреждения насекомыми. Поражение европейских лесов вредителями — широко распространенное явление, требующее к себе пристального внимания, особенно на северо-западе европейской части Российской Федерации, которая непосредственно примыкает к границам Европы.

Большое значение при изучении влияния вредителей и болезней на состояние лесов имеет учет возможных изменений климата, в частности, средних температур и осадков. Северо-запад европейской части России находится в зоне с дина-

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-16-00065. <https://rscf.ru/project/21-16-00065/>.

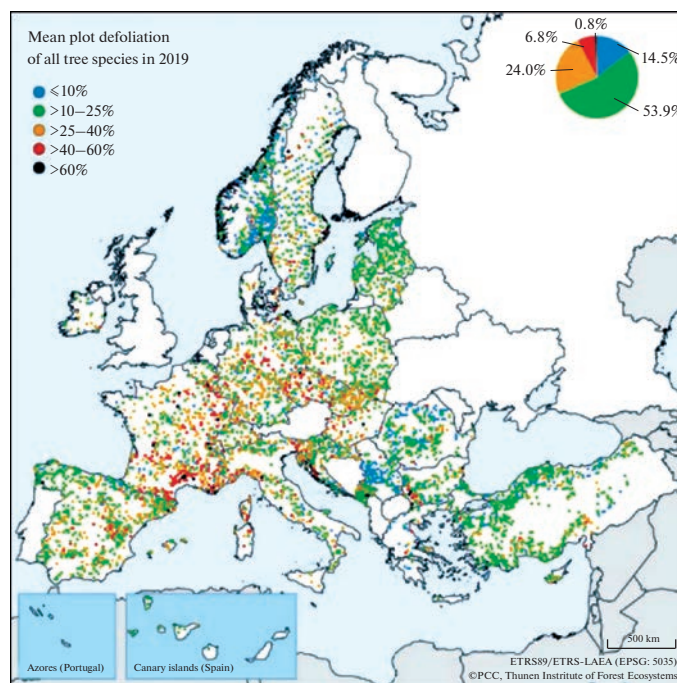


Рис. 1. Средняя дефолиация кроны деревьев на пробных площадях программы мониторинга лесов ICP-Forests в 2019 г. (голубой цвет — потери хвои (листвы) <10%, зеленый >10–25%, оранжевый >25–40%, красный >40–60%, черный >60%) (ICP-Forest Brief #5, 2021).

микой средней температуры на повышение. Северо-запад России — это территория (Второй ..., 2014), для которой выявлен тренд повышения среднегодовой и среднесезонных температур со скоростью 0.4–0.6°C/10 лет (рис. 2).

Второй важный климатический параметр — осадки, которые также могут иметь влияние на поражение северо-таежных лесов европейской части России вредителями и болезнями. Северо-запад европейской части России неоднороден с точки зрения показателя годового количества осадков. На большей части изучаемой территории количество осадков в основном не убывает и варьирует для разных частей территории от –50 до +150 мм/год или от –10 до +20% от нормы (рис. 3).

Влияние указанных изменений климата на рост древостоев ели европейской (*Picea abies* (L.)) на территории Ленинградской области было изучено методами дендрохронологии (Alekseev, Sharina, 2020). Изменение климата в настоящее время не оказывает существенного влияния на прирост деревьев и определяет только некоторую тенденцию его повышения, однако это влияние на размножение вредителей и болезней может быть значительно более интенсивным.

В период с 2000 по 2014 гг. в России ежегодно погибало в среднем около 600 тыс. га лесных насаждений, которые на 70% площади леса уничтожены из-за пожаров, на 20% — из-за экстремаль-

ных условий погоды (ураганного ветра, ледяного дождя и т.д.), на 10% — из-за воздействия вредных насекомых и болезней. Однако эти соотношения значительно варьируют от года к году в зависимости от климатических условий (Доклад ..., 2017). Площадь погибших насаждений от повреждения насекомыми и болезнями может превышать 30% от их общей площади. Например, в 2019 г. эти показатели существенно отличались от средних. По данным официальной статистики (форма 12-ЛН), в 2019 году в России погибло 169 103 га лесных насаждений, в том числе из-за пожаров — 62%, поврежденных насекомыми — 26%, воздействия неблагоприятных погодных условий — 7%, болезней леса — 6%. В том же году в Северо-Западном федеральном округе погибло 6793 га лесов. Из них из-за пожаров — 24%, поврежденных насекомыми — 21%, воздействия неблагоприятных погодных условий — 41% и болезней леса — 12%. Наибольшие площади погибших лесных насаждений отмечены в Республиках Карелии и Коми, а также в Вологодской и Ленинградской областях (рис. 4).

Хвойные древостои севера-запада европейской части России играют основную роль в формировании лесных экосистем Ленинградской, Архангельской и Мурманской областей, республик Карелии и Коми. Они выполняют важные экологические функции, в том числе осуществляют поглощение и накопление углерода из атмосферы, смягчая возможные изменения климата, и,

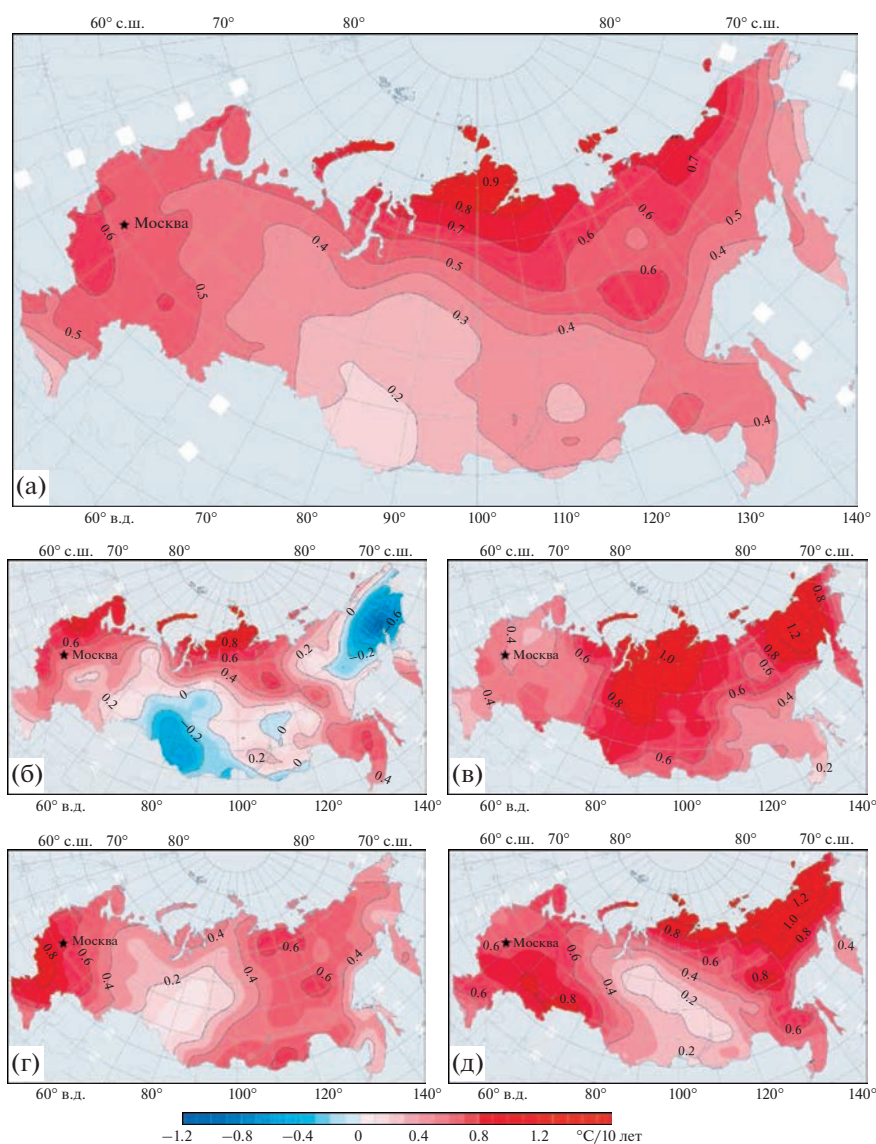


Рис. 2. Пространственное распределение коэффициентов повышения среднегодовой (а) и среднесезонной (б–д) температуры по территории России: б – зима, в – лето, г – весна, д – осень. (Второй ..., 2014).

конечно, представляют собой важнейший источник древесины и других лесных продуктов. Доля хвойных в эксплуатационных лесах Ленинградской области составляет 54.2%, а в защитных – 48%, в Карелии – 89.2 и 27.5%, в Мурманской области – 79.6 и 63.8% соответственно. В этих лесах всегда велась обширная заготовка древесины. (Громцев, Преснухин, 2015).

Масштабные усыхания ельников и сосняков отмечались на этой территории многократно, начиная с середины XVII в., однако роль вредителей в этом процессе не вполне ясна (Маслов, 2010). Массовые размножения вредителей ассимиляционного аппарата хвойных в спелых и приспевающих таежных лесах северо-запада европейской части России – нечастое событие. В первой поло-

вине XX в. вспышек массового размножения на этой территории зафиксировано не было. Некоторое исключение может составлять увеличение плотности популяции совки сосновой *Panolis flammea* (Denis et Schiffermüller, 1775), наблюдавшееся в 1928 г. к югу от Санкт-Петербурга (Тальман, Яцентковский, 1938). Позднее, в 1979–1980 гг., был зафиксирован еще один случай в южной части Ленинградской области (Гороховников и др., 1984; Селиховкин и др., 2018). На Карельском перешейке и в южной части Ленинградской области несколько раз, в 1971, 1976, 1981–1982, 1993–1998 гг., отмечалось значимое увеличение численности сосновой пяденицы *Bupalus piniaria* (Linnaeus, 1758). Однако после 1998 г. плотность популяции этого вредителя резко снизилась и впоследствии

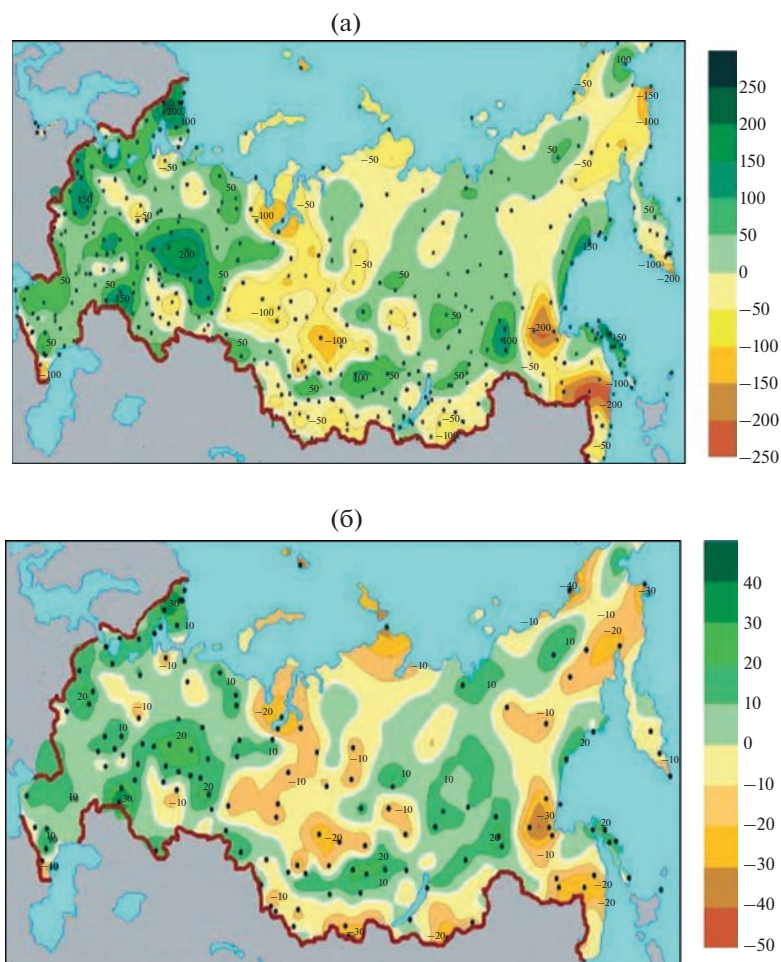


Рис. 3. Изменения во времени годового количества осадков на территории России за период с 1936 по 2010 г.: а) — мм за 75 лет, б) — в % от нормы 1961–1990.

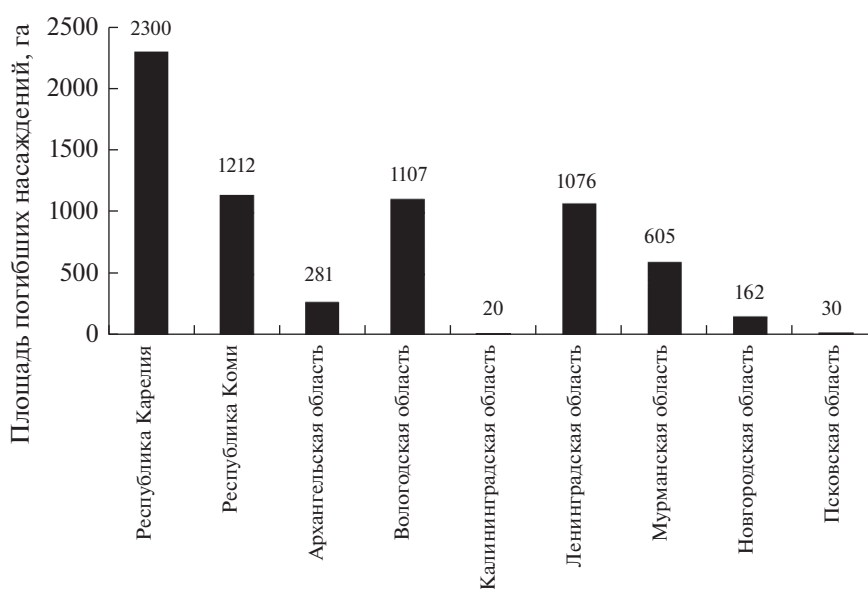


Рис. 4. Распределение площади погибших насаждений в 2019 г. по субъектам Северо-западного федерального округа (Данные формы N 12-ЛХ Сведения о защите лесов федеральной статистики, 2019).

не увеличивалась (Результаты ..., 2002; Бондаренко, Голубева, 2010; Селиховкин и др., 2018; Буй Динь Дык и др., 2020). Севернее Ленинградской области вспышек массового размножения или существенного увеличения численности сосновой пяденицы так же, как и других вредителей ассимиляционного аппарата хвойных, не отмечалось.

Стволовые вредители играют весьма существенную роль в усыхании и гибели северо-таежных лесов (Маслов, 2010; Гречкин, 2019; Komonen et al., 2011; Öhrn, 2012). Как правило, размножение стволовых вредителей связано с ветровалами, пожарами, высокой температурой в течение вегетационного периода, уменьшением количества осадков и различными видами рубок. Сильно поврежденные и ослабленные в результате воздействия катастрофических факторов древостои представляют прекрасную кормовую базу для стволовых вредителей, обеспечивая быстрое увеличение их численности и возможность последующей атаки окружающих насаждений (Катаев, 1956; Катаев и др., 2001; Маслов, 2010; Гречкин, 2019; Komonen et al., 2011; Öhrn, 2012; Hroššo, 2020). В последние два десятилетия воздействие различных погодных и антропогенных факторов, таких как сильные ветры, изменение уровня грунтовых вод, пожары, различные виды рубок, чрезвычайно негативно сказалось на состоянии хвойных древостоев и способствовало размножению стволовых вредителей и распространению болезней (Селиховкин и др., 2016, 2017, 2018; Селиховкин, 2017, 2021). Изменение климата и связанное с ним увеличение суммы эффективных температур — один из ключевых факторов, способствующих росту численности вредителей (Selikhovkin et al., 2021). За 2000–2017 гг. в ландшафтных зонах северных регионов повсеместно наблюдались положительные тренды суммы температур выше 10°C (Титкова, Виноградова, 2019). На некоторых участках северной тайги существенно изменяются климатические условия и соответствуют более южным ландшафтным зонам (Титкова, Виноградова, 2019). Следовательно, происходит продвижение к северу ареалов ряда видов вредителей леса. В частности, отмечается расширение ареалов вредоносности сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908 (Lasiocampidae: Lepidoptera) и непарного шелкопряда *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) (Erebidae: Lepidoptera). Вспышки массового размножения данных вредителей фиксируются на территориях, где увеличение плотностей популяций этих видов ранее не определялось (Барталев др., 2020). Инвазивный вредитель союзный короед уже отмечен на Кольском полуострове (Мандельштам, Селиховкин, 2020). Резонансным событием стало обильное усыхание лесов в Архангельской области, которое к концу 2005 г. оценивалось более чем в 2 млн га и захватило и Республику Коми. Ожидалось, что общая площадь усыхающих лесов может

достигнуть 5 млн га (Жигунов и др., 2007). Основным фактором, приведшим к этому массовому усыханию древостоев, считается снижение уровня грунтовых вод (Краткий обзор ..., 2015; Состояние ..., 2019). Большие площади усыхающих древостоев создали объемную кормовую базу для стволовых вредителей и, прежде всего, для короеда-типографа, основные очаги которого фиксировались и позднее, в 2014 г., в Верхнетоемском, Выйском, Емецком и Коношском лесничествах (Краткий обзор ..., 2015).

Несмотря на значимость вредителей северо-таежных лесов, опубликованных данных по состоянию популяций стволовых вредителей на северо-западе европейской части России относительно немного. Основная цель данной работы — обобщить и проанализировать материал о существенном увеличении численности или плотности популяций стволовых насекомых, представляющих опасность для хвойных древостоев северо-запада европейской части, расположенных меридионально, т.е. Республики Карелии, Ленинградской и Мурманской областей, с учетом данных научных отчетов и лесопатологического мониторинга.

ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ И АНАЛИЗУ ДАННЫХ

Обобщение и анализ данных выполнялись, прежде всего, для Ленинградской области, республики Карелии и Мурманской области, т.е. субъектов, расположенных в меридионально близких районах с бореальным климатом. По классификации Кеппена, климат этого региона относится к группе Dfc, т.е. регулярному субарктическому, без сухих сезонов (McKnight, Hess, 2001). Во всех регионах не менее 50% лесного фонда составляют хвойные древостои (Громцев, Преснухин, 2015). Это позволило сравнить структуру популяций доминирующих стволовых вредителей по опубликованным материалам в сходных условиях по основным параметрам среды, за исключением температуры. Кроме того, учитывались материалы публикаций по Архангельской области и Республике Коми.

При подборе данных принималось во внимание событие, которое могло быть охарактеризовано как вспышка массового размножения. Использование информации из центров защиты леса (филиалы Рослесозащиты) было наиболее проблематичным, т.к. популяционные характеристики (встречаемость вредителей, плотность поселения, энергия размножения, короедный запас и др.) в материалах не учитываются (Селиховкин, 2017, 2021). Это не позволяет судить о состоянии популяции. Однако во многих случаях данные удавалось верифицировать благодаря научным исследованиям, проводившимся в тех же районах. Принимались во внимание, прежде всего, мас-

штабные вспышки массового размножения, площадь которых составляла несколько тысяч гектаров. Сведения о таких событиях не оставались незамеченными и, так или иначе, находили отражения в опубликованных работах, материалах научных отчетов и отчетах центров защиты леса.

Данные по площади очагов сильно варьируют. В случаях, когда суммарные площади очагов в субъекте Федерации составляют 500 и менее гектаров, стволовыми вредителями заселены разрозненные, локальные группы, или куртины ели или сосны. В таежных лесах Ленинградской области и Южной Карелии такие куртины обнаруживаются ежегодно (Огибин, 1989; Крутов и др., 2014; Селиховкин и др., 2018; Мамаев и др., 2021). Соответственно, если площадь очагов составляла менее 500 га в субъекте Федерации, то такое событие, как вспышка размножения, нами не учитывалось. Поэтому мы приняли градацию с шагом в 1000 га, начиная от 500 га, т.е. 1 балл — 500–1500 га; 2 балла — 1500–2500 га; 3 балла — 2500–3500 га; 4 балла — более 3500–4500 га; 5 баллов — более 4500 га.

Важным аспектом оценки площади очага служили данные о состоянии популяции. Если происходило снижение короедного запаса (количество особей родительского поколения на единицу площади), снижалась энергия размножения (отношение числа особей молодого поколения к числу особей родительского поколения), мы считали, что вспышка размножения завершилась.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗМНОЖЕНИЯ СТВОЛОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ

Вредители ассимиляционного аппарата хвойных древостоев в исследуемых регионах не играют существенной роли. Как было сказано выше, вспышки размножения фиксировались только для одного вида из этой группы, сосновой пяденицы, и только в Ленинградской области. Причем после 1998 г. значимого увеличения численности этого вредителя не наблюдалось, а его гусеницы и бабочки встречаются редко (Результаты ..., 2002; Обзор ..., 2008а; Бондаренко, Голубева, 2010; Селиховкин и др., 2018; Буй Динь Дык и др., 2020).

Стволовые вредители — короеды (Curculionidae: Scolytinae) и усачи (Cerambycidae) представляют собой основную группу вредителей в северо-таежных лесах европейской части России (Казаев, 1952; Маслов, 2010).

Фауна короедов северо-запада европейской части России и ее генезис довольно хорошо исследованы (Мандельштам, Селиховкин, 2020). Видовое разнообразие короедов снижается по мере продвижения на север: в Ленинградской области (без учета случайных завозов) выявлено 76 ви-

дов жуков этого подсемейства; в Республике Карелии — 59 видов; в Мурманской области — 54 вида. К серьезным вредителям в этом регионе можно отнести короеда-типографа, вершинного короеда *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827), короеда-гравера *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1760) и сосновых лубоедов (большого соснового лубоеда *Tomicus piniperda* (Linnaeus, 1758) и малого соснового лубоеда *Tomicus minor* (Hartig, 1834)) (Мандельштам, Селиховкин, 2020), а также большого елового лубоеда (дентроктона) *Dendroctonus micans* (Kugelann, 1794) (Яцентковский, 1931; Шиперович, 1931) и короедов-полиграфов (полиграфа пушистого *Polygraphus poligraphus* (Linnaeus, 1758) и полиграфа малого елового *Polygraphus subopacus* Thomson, 1871) (Власова и др., 1988; Власова, 1989; Селиховкин и др., 2016, 2018). К этой же группе вредителей необходимо отнести и еловую жердняковую смолевку *Pissodes harcyniae* (Herbst, 1795), которая нередко отмечается в значительных количествах не только в молодняках и жердняках, но и приспевающих и спелых древостоях, заселяя деревья с большими диаметрами (Огибин, 1989; Селиховкин и др., 2016, 2018; Мамаев и др., 2021).

Потенциальную опасность для ельников северо-таежных лесов представляет недавний вселенец — союзный короед (Økland et al., 2019), селящийся на сосне и ели. Этот вид несколько ранее 1951 г. появился в Ленинградской обл. (Мандельштам, Селиховкин, 2020). К 1996 г. союзный короед достиг Мурманской области и стал обычным вредителем хвойных древостоев на всей территории северо-запада европейской части России (Щербakov и др., 2013, Мандельштам, Селиховкин, 2020). В этом регионе союзный короед не наносил значимого вреда, но после проникновения в Западную Сибирь он дал вспышку размножения в древостоях сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), что привело к масштабной гибели древостоев (Керчев и др., 2019).

Вторая группа вредителей, для которой указываются случаи формирования очагов массового размножения, — усачи (Cerambycidae), черные (черный пихтовый усач *Monochamus urusovi* (Fisher von Waldeim, 1806), еловый малый черный усач *Monochamus sutor* (Linnaeus, 1760), усач бронзовый сосновый *Monochamus galloprovincialis* (Olivier, 1795)) и еловый блестящегрудый *Tetropium castaneum* (Linnaeus, 1758) (Огибин, 1989; Огибин и др., 1990; Селиховкин и др., 2016, 2018).

Ленинградская область

Многочисленные случаи масштабных вспышек массового размножения вредителей, при которых площади очагов превышают 500 га, в Ленинградской области зафиксированы только для короеда-типографа (табл. 1, рис. 5).

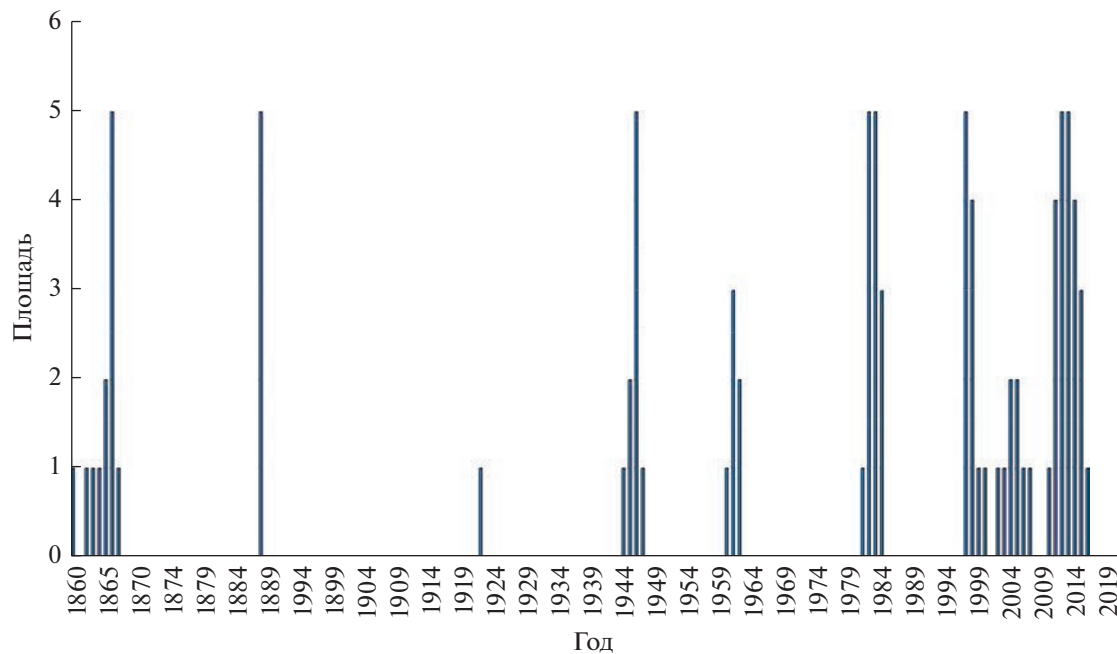


Рис. 5. Вспышки массового размножения короеда-типографа *Ips typographus* в Ленинградской области, площадь в баллах – 1 – от 500 до 1500 га; 2 – 1500–2500 га; 3 – 2500–3500 га; 4 балла – более 3500–4500 га; 5 баллов – более 4500 га.

Масштабные вспышки произошли во второй половине XIX в. и в 1922 г. Вспышка 1922 г. отмечена только в одной публикации (Шиперович, 1931). Сведения о ее продолжительности отсутствуют, но, по всей вероятности, она также продолжалась не один год. Если предположить, что она началась раньше, в 1920–1921 гг., то можно сказать, что до 1981 г. интервалы между вспышками размножения короеда-типографа составляли 20–30 лет. Однако с 1981 г. они резко сократились. В 1981–1984, 1997–2000 и 2010–2016 гг. эти события были обусловлены ураганами, ежегодно приводившими к вывалу 10–40 тыс. га хвойных

древостоев (Селиховкин и др., 2016, 2017, 2018). Вспышка массового размножения 2010–2016 гг. усугубилась за счет повышения температуры, уменьшения количества осадков в отдельные годы и воздействия ряда антропогенных факторов, в том числе связанных с особенностями проведения различных видов рубок (Селиховкин и др., 2017). События 2002–2007 гг. вряд ли можно классифицировать как масштабную вспышку размножения стволовых вредителей. По данным Центра защиты леса и опубликованным данным (табл. 1), суммарные очаги размножения короеда-типографа и других вредителей не превышали 2500 га.

Таблица 1. Вспышки массового размножения короеда-типографа на территории Ленинградской области

Период, годы	Источник
1860–1867	Катаев, 1948, 1952, 1956; Кеппен, 1882
1888	Катаев, 1952, 1999; Шевырев, 1885
1922	Шиперович, 1931
1944–1947	Катаев, 1952, 1956, 1983
1960–1962	Катаев, 1983
1981–1984	Катаев, 1983; Катаев и др, 1984; Изучение..., 1984, 1985; Голутвина, Калинин, 1986; Быстрыкова, Денисова, 1995; Осетров, Селиховкин, 1998; Поповичев, 1988, 2000
1997–2000	Осетров, Селиховкин, 1998; Катаев и др., 2001
2002–2007	Обзор..., 2008а; 2011а; Бондаренко, Голубева, 2010; Селиховкин и др., 2016, 2017, 2018
2010–2016	Обзор..., 2011а; Селиховкин и др., 2016, 2017, 2018

В отношении других видов стволовых вредителей ели достоверно зафиксировано только одно событие, которое можно классифицировать как вспышку массового размножения, — резкое увеличение численности короеда-гравера, сопровождавшее вспышку массового размножения короеда-типографа после масштабного ветровала, произошедшего в Ленинградской области в 1981 г. Короед-гравер заселяет деревья меньшего диаметра. Это позволило вредителю сформировать вполне самостоятельные очаги, максимальная площадь которых наблюдалась в 1983 г. и превышала 5 тыс. га. В 1983 началось снижение численности короеда-гравера, и в 1985 г. вспышка массового размножения этого вредителя прекратилась (Катаев, 1983; Катаев и др., 1984; Изучение..., 1984, 1985; Голутвина, Калинин, 1986; Быстрыкова, Денисова, 1995; Осетров, Селиховкин, 1998; Поповичев, 1988).

Небольшие очаги короеда-гравера, возникавшие одновременно с развитием локальных очагов короеда-типографа, отмечались и ранее (Шрайнер, 1902; Шиперович, 1928), а небольшие группы деревьев или отдельные деревья, заселенные этим видом, в Ленинградской области можно найти практически всегда (Селиховкин и др., 2018; Мамаев и др., 2021).

Вспышки массового размножения стволовых вредителей сосны в Ленинградской области отмечались только для сосновых лубоедов и, прежде всего, большого соснового лубоеда (табл. 2). Крупные очаги отмечены только в двух случаях и связаны с ветровалами 1981 и 1986 гг. Однако небольшие очаги размножения встречаются ежегодно (Шиперович, 1928; Яцентковский, 1931, 1934; Щербакова, 1999; Поповичев, 2000; Мамаев и др., 2021).

Вполне вероятно, что после ветровалов 2010–2013 гг. также существовали очаги размножения большого соснового лубоеда, но прямые подтверждения этих событий в публикациях отсутствуют.

Потенциальную опасность для древостоев представляет короед-дендроктон, который нередко встречается в сосняках разного возраста и в совершенно разных типах леса (Шиперович, 1931; Яцентковский, 1931; Поповичев, 2000; Селиховкин и др., 2016; Мамаев и др., 2021). Существенных по площади очагов размножения короеда-дендроктона зафиксировано не было. Заселенные этим вредителем деревья могут долгое время сохранять зеленую крону и оцениваться при лесопатологических обследованиях первой или второй категорией состояния. Кроме того, его поселения не очень заметны. Соответственно, сведений об этом вредителе немного, несмотря на то, что это весьма агрессивный вид.

В ослабленных древостоях Ленинградской области всегда присутствует значительная доля де-

Таблица 2. Вспышки массового размножения сосновых лубоедов — большого соснового лубоеда и малого соснового лубоеда в Ленинградской области

Год	*Оценка площади, баллы	Источник
Ветровал 1981 года		
1982	2	Катаев,1983; Катаев и др, 1984; Изучение..., 1984, 1985; Голутвина, Калинин, 1986; Быстрыкова, Денисова, 1995; Осетров., Селиховкин, 1998
1983	4	
1984	3	
1985	1	
Ветровал 1996 года		
1997	5	Осетров, Селиховкин,1998;
1998	1	Катаев и др., 2001
Локальные повреждения		
2002	1	Бондаренко, Голубева, 2010; Обзор..., 2011а; Селиховкин и др, 2016
2003	1	
2004	1	
2005	1	

* Оценка площади очагов: 1 балл — 500–1500 га; 2 балла — 1500–2500 га; 3 балла — 2500–3500 га; 4 балла — более 3500–4500 га; 5 баллов — более 4500 га.

ревьев, заселенных усачами. В этой группе доминируют 4 вида (усач бронзовый сосновый, еловый малый черный усач, черный пихтовый усач и блестящегрудый). Однако их роль в разрушении древостоев неясна. Размножение усачей сопряжено с формированием очагов стволовых вредителей, но по мере затухания очага усачи могут стать ведущим фактором. По нашим наблюдениям в 2016–2017 гг., после затухания вспышки размножения короеда-типографа, доминантной группой вредителей стали усачи, не формируя, однако, больших по площади очагов размножения (Селиховкин и др., 2016, 2017, 2018).

Республика Карелия и Мурманская область

Доминирующая группа стволовых вредителей в Карелии представлена несколько более узкой группой, чем в Ленинградской области. В нее входят короед-типограф, короед-гравер, дендроктон, сосновые лубоеды (большой сосновый лубоед и малый сосновый лубоед), черные усачи (черный пихтовый усач, еловый малый черный усач, усач бронзовый сосновый) и еловые усачи (блестящегрудый усач и матовогрудый усач *Tetropium fuscum* (Fabricius, 1787)) (Шарапа, Щербаков, 1999; Яковлев, 1999; Крутов и др., 2014).

Северная Карелия отнесена к зоне слабой лесопатологической угрозы, а Центральная и Южная — к средней (Обзор..., 2011б). Очаги массового размножения стволовых вредителей во взрос-

лых древостоях здесь отмечались существенно реже, чем в Ленинградской области. Обычно они невелики по площади и занимают несколько гектаров (Обзор ..., 1994, 2008б, 2011б). Однако, по крайней мере, одна крупная вспышка массового размножения короеда-типографа произошла в юго-восточной части Карелии в Национальном парке "Водлозерский" и на территории Пудожского лесничества в 2001–2005 гг. Эта вспышка развивалась после обширных ветровалов 2000 г. Пик вспышки пришелся на 2003 г. Размножившиеся в 2001 г. на ветровальниках короеды в 2002–2003 гг. активно заселяли деревья с зелеными кронами. В 2004 г. площадь очагов уменьшилась, и в 2005 г. вспышка прекратилась (Полевой и др., 2006; Шербаков и др., 2007; Налдеев, 2009). Общая площадь очагов оценивалась в 18 тыс. га (Ананьев и др., 2006).

В Южной Карелии отмечались небольшие очаги короеда-дендроктона во взрослых сосновых древостоях в 1982, 1984 и 1985 гг. (Узенбаев, Крутов, 1991) и в 1968 г в лесных культурах на осушенном болоте (Крутов, 1985).

В 1970–1971 гг. наблюдалось усыхание сосняков на севере Карелии в Кемском лесничестве на площади 2200 га, которое объяснялось формированием очага массового размножения соснового усача на площади 5628 га (Сайченко, 1973). Эти данные вызывают некоторые сомнения, т.к. сведений о факторах, способствовавших формированию очага этого вредителя, обнаружить не удалось.

В Мурманской области очагов размножения вредителей хвойных не отмечалось (Обзор ..., 1994, 2008а; Обзор ..., 2011в). Видовой состав стволовых насекомых, представляющих потенциальную опасность для взрослых древостоев, в этом регионе включает те же виды, что и в Карелии: короеды (короед-типограф, короед-гравер), сосновые лубоеды (большой сосновый лубоед и малый сосновый лубоед, короед-дендроктон), усачи (черный пихтовый усач, еловый малый черный усач, усач бронзовый сосновый, блестящегрудый усач и матовогрудый усач). Встречаемость и плотность популяций всех этих видов невелика. Не зафиксировано даже небольших очагов. Являясь фактором гибели древостоев, эта группа вредителей в Мурманской области не играла существенной роли (Selikhovkin, 1992; Мозолевская, Шарапа, 1992; Мозолевская, Шарапа, 1996). Следует отметить, что в Мурманской области чаще, чем короед-типограф, встречается короед-двойник *Ips duplicatus* (Sahlberg, 1836) (Мозолевская и др., 1984), который присутствует и в других районах севера европейской части России, однако, например, в Ленинградской области он встречается заметно реже, чем короед-типограф (Селиховкин и др., 2016, 2018). Интересно также отметить, что для Мурманской области имеются указания на высокую

встречаемость елового малого черного усача исключительно в ее южной части. При этом черный пихтовый усач обнаружен здесь не был, но в северной части области встречался довольно часто (Мозолевская и др., 1996). Однако, по всей вероятности, указания на нахождение елового малого черного усача на севере ошибочны и относятся к близкому виду — черному пихтовому усачу, т.к. в более поздних публикациях еловый малый черный усач указан как вид, отсутствующий на территории России (Ижевский и др., 2005). В наших исследованиях в Ленинградской области еловый малый черный усач также не был обнаружен (Селиховкин и др., 2016, 2018).

Архангельская область и Республика Коми

В Архангельской области зафиксирована одна, очень большая, вспышка массового размножения стволовых вредителей, затронувшая и Республику Коми в 2003–2010 гг. В Республике Коми усыхание ельников и размножение стволовых вредителей наблюдалось в 2004–2005 гг. в Удорском районе, примыкающем к Архангельской области (Жигунов и др., 2007; Обзор ..., 2008а; Краткий ..., 2015). Начало вспышки связывают с жарким и засушливым летом 1997 г., снеголомами 2001–2003 гг., приведшими к массовому усыханию ельников преимущественно в междуречье Северной Двины и Пинеги. К концу 2005 г. усыхание лесов в Архангельской обл. оценивалось более чем в 2 млн га. Ожидалось, что общая площадь усыхающих лесов может достигнуть 5 млн га (Жигунов и др., 2007; Маслов, 2010). Доминирующими видами были короед-типограф и усачи (Маслов, 2010; Краткий ..., 2015). В 2004 г. площадь известных очагов была относительно небольшой, но уже в 2005 г. А.Д. Маслов (2010) оценивал ее в 1252 тыс. га. В 2010 г. вспышка размножения вредителей прекратилась. Подобные события, по-видимому, происходили и в конце XIX, и начале XX в. (Маслов, 2010), но в послевоенные годы не отмечались.

Во второй половине XX в. известны случаи размножения усачей рода *Monochamus*, в особенности усачей (елового малого черного усача и усача бронзового соснового), сосновых лубоедов (большого соснового лубоеда и малого соснового лубоеда), короеда-гравера *Pityogenes* spp. на относительно небольших площадях. Очаги возникали в горельниках, в районе расположения складов древесины, в насаждениях, примыкающих к вырубкам (Власова и др., 1988, Власова, 1989; Огибин, 1989; Огибин, Лобанова, 1990). Очаги короеда-дендроктона отмечены в ельниках на сфагновых болотах (Благовидов, Трофимов, 1979). В заметных количествах присутствуют и другие виды короедов и усачей, характерные для северо-таежных лесов, — короеды (короед-типограф, короед вершинный) и усачи (блестящегрудый усач и

матовогрудый усач). Полевые исследования показали, что существенное влияние на снижение радиального прироста сосен оказывают повреждения крон еловым малым черным усачом и сосновыми лубоедами в процессе дополнительного питания (Благовидов, Трофимов, 1979; Огибин, 1989; Огибин, Лобанова, 1990).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные показывают, что список наиболее значимых вредителей северо-таежных лесов не претерпел существенных изменений за последние полтора столетия. Наибольшую опасность для еловых древостоев представляет короед-типограф, способный формировать масштабные очаги массового размножения. Короед-гравер, сосновые лубоеды, в особенности большой сосновый лубоед, короед-дендроктон, а также черные усачи при определенных условиях могут также сформировать значимые очаги размножения как в ельниках, так и в сосняках.

Обращает на себя внимание увеличение частоты вспышек массовых размножений в конце XX—начале XXI в.

Судя по вышеприведенным опубликованным данным, начало вспышек массового размножения обусловлено преимущественно погодными условиями — ураганными ветрами и образованием ветровалов, а также жаркими вегетационными сезонами и недостатком осадков. В частности, прослеживается достоверное увеличение температуры в Санкт-Петербурге, Ленинградской области и Карелии (Selikhovkin et al., 2021; Selikhovkin, Merkuriev, 2021), но гораздо слабее проявляется в Мурманской области (Selikhovkin, Merkuriev, 2021). Недооцененным фактором ослабления древостоев может служить дополнительное питание сосновых лубоедов и черных усачей в случаях их массового размножения, существенно влияющего на прирост и состояние окружающих насаждений. Однако увеличение их численности до опасных при дополнительном питании значений связано с формированием благоприятной среды для размножения этой группы насекомых в поврежденных различными факторами древостоях (Благовидов, Трофимов, 1979; Огибин, 1989; Огибин, Лобанова, 1990).

В целом можно с уверенностью утверждать, что опасность массовых размножений стволовых вредителей в Ленинградской области и Республике Карелии возрастает. Появление инвазионных видов, таких как союзный короед, представляет потенциальную опасность. Однако большую тревогу вызывает активизация автохтонных вредителей, негативная деятельность которых отмечается в северо-таежных лесах на протяжении последних ста лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьев В.А., Раевский Б.В., Грабовик С.И. Коренные еловые леса Национального парка “Водлозерский”: структура, динамика и состояние // Водлозерские чтения: Естественнонаучные и гуманитарные основы природоохранной, научной и просветительской деятельности на охраняемых природных территориях Русского Севера. Материалы научно-практической конференции, посвященной 15-летию Национального парка “Водлозерский”. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С.88–93.
- Барталев С.И., Швиденко А., Хелд А. Природные нарушения лесов // Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука. Т.11. Европейский институт леса, 2020. С. 21–25.
<https://doi.org/10.36333/wsctu11>
- Благовидов А.К., Трофимов Н.В. К санитарному состоянию насаждений Пинежского госзаповедника // Защита леса. Вып. 4. Л.: ЛТА, 1979. С. 15–18.
- Бондаренко Е.А., Голубева И.Б. Обзор лесопатологического состояния лесов Ленинградской, Мурманской областей и Республики Карелия за 2009 г. // Лесные вести СЗФО. 2010. № 2(3). С. 30–39.
- Буй Динь Дык, Денисова Н.В., Барышникова С.В., Шевченко С.В., Селиховкин А.В. Актуальные изменения видового состава и плотности популяций насекомых-филлофагов в Санкт-Петербурге // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. № 230. С. 73–99. С. 73–99
<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2020.230.73-99>
- Быстрякова Н.О., Денисова Н.В. Динамика отпада сосны и короедного прироста сосновых лубоедов в ветровальниках // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Выпуск 3(161). Санкт-Петербург, 1995. С. 22–27.
- Власова Е.Г., Евдошук В.Л., Аспедникова Т.В. Отчет о работе Архангельской станции защиты леса в 1981–1988 гг. Архангельск, 1988. Не опубликовано.
- Власова Е.Г. Обзор санитарного состояния лесов Архангельской области за 1981–1988 гг. Архангельск, 1989. Не опубликовано.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М.: Росгидромет, 2014. 94 с.
- Голутвина Л.С., Калинин А.Н. Стволовые вредители в еловых ветровальниках // Экология и защита леса. Ленинград: ЛТА, 1986. С. 7–16.
- Гороховников А.В., Лебедева Г.С., Шолина М.В. К экологии сосновой совки в Новгородской области // Экология и защита леса: Лесные экосистемы и их защита. Межвузовский сборник научных трудов. Л.: Лесотехническая академия, 1984. С. 36–41.
- Гречкин В.П. Лесопатологическая характеристика лесов СССР по отдельным природно-географическим зонам: в 3-х томах. Т. 1. Лесопатологическая характеристика лесов лесной зоны. Пушкино: ВНИИЛМ, 2019. 308 с.
- Громцев А.Н., Преснухин Ю.В. Современное состояние лесов и лесопользования // Леса и их многоцелевое использование на северо-западе европейской части таежной зоны России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 52–60.

- Данные Федеральной лесной службы России за 1977–1994 гг. ВНИИЦлесресурс, 1999. Комитет лесного хозяйства Ленинградской области. Не опубликовано.
- Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Климатический центр Росгидромета. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
- Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на северо-западе России // Лесобихологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы. Материалы научной конференции, посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН (3–5 октября 2007 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 42–52.
- Ижевский С.С., Никитский Н.Б., Волков О.Г., Долгин М.М. Иллюстрированный справочник жуков – ксилофагов – вредителей леса и лесоматериалов Российской Федерации. Тула: Гриф и К, 2005. 220 с.
- Изучение лесопатологического состояния древостоев северо-западной зоны СССР. Отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный) / Под рук. О.А. Катаева. Ленинград: ЛТА, 1984. 42 с.
- Изучение лесопатологического состояния древостоев северо-западной зоны СССР. Отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) / Под рук. О.А. Катаева. Ленинград: ЛТА, 1985. 89 с.
- Катаев О.А. Краткая история Лисинского учебно-опытного лесхоза в лесозащитном отношении. Л.: Лесотехническая академия, 1948. 88 с.
- Катаев О.А. Вторичные вредители хвойных древостоев Калининградской области и меры борьбы с ними: дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Л.: ЛТА, 1952. 257 с.
- Катаев О.А. Обзор санитарного состояния Лисинского лесного массива за 1787–1955 годы. № 73. Л.: ЛТА, 1956. С. 49–58.
- Катаев О.А. Особенности размножения стволовых насекомых в ельниках // Лесная энтомология. Тр. ВЭО. Т. 65. Л.: Наука, 1983. С. 54–108.
- Катаев О.А., Голутвина Л.С., Калинин А.С. Ветровал в ельниках как среда, способствующая массовому размножению короедов // Экология и защита леса. Л.: ЛТА, 1984. С. 4–8.
- Катаев О.А. Неопубликованные данные, личные комментарии к рукописям и опубликованным данным, 1999.
- Катаев О.А., Осетров А.В., Поповичев Б.Г. и Селиховкин А.В. Динамика плотности популяций короедов (Coleoptera, Scolytidae) в древостоях, ослабленных природными и антропогенными факторами. Чтения памяти Николая Александровича Холодковского. Вып. 54. СПб.: Русское энтомологическое общество, 2001. 82 с.
- Кеппен Ф.П. Вредные насекомые. Т. 2. Специальная часть. I. Прямокрылые, жуки и перепончатокрылые. СПб.: Деп. земледелия и сел. пром-сти, 1882. 585 с.
- Керчев И.А., Мандельштам М.Ю., Кривец С.А., Илинский Ю.Ю. Союзный короед *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) – новый чужеродный вид в Западной Сибири // Энтомологическое обозрение. 2019. Т. 98. № 3. С. 592–599. <https://doi.org/10.1134/S0367144519030092>
- Краткий обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Архангельской области за 2014 г. и прогноз лесопатологической ситуации на 2015 г. / Под ред. О.П. Тучиной. Архангельск, 2015. 28 с.
- Крутов В.И. Система лесозащитных мероприятий в сосняках Карелии // Система лесохозяйственных мероприятий в сосновых лесах Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1985. С. 90–101.
- Крутов В.И., Шубин В.И., Предтеченская О.О., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Полевой А.В., Хумала А.Э., Яковлев Е.Б. Грибы и насекомые – консорты лесоразрушающих древесных пород Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. 216 с.
- Мамаев Н.А., Поповичев Б.Г., Селиховкин А.В. Стволовые вредители в хвойных древостоях Карельского полуострова. Актуальные вопросы в лесном хозяйстве: Материалы V Междунар. науч.- практ. конф. молодых ученых. СПб.: СИНЭЛ, 2021. С. 107–110.
- Мандельштам М.Ю., Селиховкин А.В. Короеды Северо-Запада России (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae): история изучения, состав и генезис фауны // Энтомологическое обозрение. 2020. Т. 99. № 3. С. 631–665. DOI 10.31857/
- Маслов А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.
- Мозолева Е.Г., Катаев О.А., Соколова Э.С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесная промышленность, 1984. 152 с.
- Мозолева Е.Г., Шарпа Т.В. Состояние лесов и роль насекомых-ксилофагов на заповедных и техногенных территориях Кольского полуострова // Лесной журн. 1992. № 4. С. 37–42.
- Мозолева Е.Г., Шарпа Т.В. Видовой состав насекомых-ксилофагов Мурманской области // Энтомологическое обозрение. 1996. Т. 75. № 3. С. 538–556.
- Налдеев Д.Ф. Вспышка массового размножения коро-еда-типографа в национальном парке “Водлозерский” Республики Карелия // Лесной вестник. 2009. № 5. С. 126–128.
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов России за 1993 г. Ленинградская область. Федеральная служба лесного хозяйства РФ. М.: Росагросервис, 1994. 126 с.
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния земель лесного фонда за 2007 год. Федеральное агентство Российской Федерации. № 40/41. Пушкино: Рос-сийский центр защиты леса, 2008а. 16 с.
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния земель лесного фонда за 2007 год. Федеральное агентство Российской Федерации. № 46/47. Пушкино: Рос-сийский центр защиты леса, 2008б. 16 с.
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов на территории Ленинградской области в 2010 г. и прогноз лесопатологической ситуации на 2011 г. СПб.: Центр защиты леса Ленинградской области, 2011а. Рукопись. 45 с.
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов на территории Республики Карелия в 2010 г. и прогноз лесопатологической ситуации на 2011 г. Петрозаводск: Центр защиты леса Ленинградской области, 2011б. Рукопись. 27 с.
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов на территории Мурманской области в 2010 г. и прогноз лесопатологической ситуации на 2011 г. СПб., Центр защиты леса Ленинградской области, 2011в. Рукопись. 22 с.

Огибин Б.Н. Насекомые-ксилофаги лесов Европейского Севера и борьба с ними. Архангельск: АИЛИЛХ, 1989. 28 с.

Огибин Б.И., Лобанова А.В. Влияние усачей рода *Monochamus* на деревья и лесоматериалы // Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1989 год. Архангельск: АИЛИЛХ, 1990. С. 89–71.

Осетров А.В., Селиховкин А.В. Видовое разнообразие и динамика плотности популяций короедов в хвойных древостоях, поврежденных сильными ветрами // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Выпуск 6(164). Санкт-Петербург, 1998. С. 27–34. Отчет Комитета по лесному хозяйству Республики Коми за 1970–1998 гг. 1998. Unpublished.

Полевой А.В., Щербаков А.Н., Хумала А.Э., Нальдеев Д.Ф. Вспышка массового размножения короеда-типографа (*Ips typographus* L.) как одно из последствий массового ветровала в Национальном парке “Водлозерский” // Водлозерские чтения: Естественнаучные и гуманитарные основы природоохранной, научной и просветительской деятельности на охраняемых природных территориях Русского Севера: Материалы научно-практической конференции, посвященной 15-летию Национального парка “Водлозерский”. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 88–93. С. 96–102.

Поповичев Б.Г. Кормобионты в еловых лесах, подвергающихся воздействию выбросов синтетических моющих средств // Экология и защита леса. Л.: ЛТА, 1988. С. 68–70.

Поповичев Б.А. Короеды в северных районах Санкт-Петербурга // Лесной вестник. 2000. № 6. С. 135–140. Результаты лесопатологического мониторинга в Российской Федерации за 1966–1998 гг. Федеральная служба лесного хозяйства России, Комитет лесного хозяйства Ленинградской области. 2002 г. Не опубликовано.

Сайченко Г.П. Распространение стеблевых вредителей в сосняках после пожаров. Материалы ежегодной научной сессии Архангельского института лесного хозяйства и лесохимии за 1972 г. Архангельск, 1973. С. 70–73.

Селиховкин А.В. Эффективность санитарно-оздоровительных мероприятий в современных условиях на примере Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. № 221. С. 35–51.

Селиховкин А.В. Регуляторная гильотина и эффективность лесозащиты. Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. Т. 2. СПб.: СПбГЛТУ, 2021. С. 152–155. [ISBN 978-5-9239-1229-6]

Селиховкин А.В., Глебов Р.Н., Магдеев Н.Г., Ахматович Н.А., Поповичев Б.Г. Оценка роли насекомых и дендропатогенных организмов в усыхании древостоев Ленинградской области и республики Татарстан // Лесоведение. 2016. № 2. С. 83–95.

Селиховкин А.В., Варенцова Е.Ю., Поповичев Б.Г. Сплошные санитарные рубки как метод контроля плотности популяций стеблевых вредителей и распространения дендропатогенных организмов в современных условиях на примере Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. № 220. С. 186–199.

Селиховкин А.В., Ахматович Н.А., Варенцова Е.Ю., Поповичев Б.Г. Размножение короеда типографа и других дендропатогенных организмов на Карельском перешейке // Лесоведение. 2018. № 6. С. 426–433.

Селиховкин А.В., Барышникова С.В., Денисова Н.В., Тимофеева Ю.А. Видовой состав и динамика плотности популяций, доминирующих чешуекрылых-дендрофагов в Санкт-Петербурге и его окрестностях // Энтомологическое обозрение. 2018. Т. ХСVII. № 4. С. 617–639.

Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2018 г. Доклад. Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области / Под ред. Э.В. Шашина. Архангельск, 2019. 454 с.

Тальман П.Н., Яценковский А.В. Вредные насекомые еловых и елово-лиственных лесов и меры борьбы с ними. Л.: Гослестехиздат, 1938. 103 с.

Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Изменения климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 310–323.

Узенбаев С.Д., Крутов В.И. Короед-дендроктон (*Dendroctonus micans* Kug. Coleoptera, Scolytidae) в Карелии // Энтомологические исследования в заповеднике “Кивач”. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1991. С. 138–145.

Шарапа Т.В., Щербаков А.Н. Результаты лесопатологического мониторинга в хвойных насаждениях заповедника “Кивач” // Коренные леса таежной зоны Европы: современное состояние и проблемы сохранения: Материалы Международной научно-практической конференции. Петрозаводск: СДВ-ОПТИМА, 1999. С. 221–222.

Шевырев И.Я. Опустошительное размножение короедов в средней России с 1882 г. по 1894 г. и попытки борьбы с ними. 1985 (?) Отдельный оттиск без указания принадлежности и года издания. 23 с.

Шиперович В.Я. Генерации у короедов и методика определения числа генераций. Отдельный оттиск без указания принадлежности и года издания // Природа и хозяйство учебно-опытных лесничеств Ленинградского лесного института. М.: Новая Деревня, 1928. С. 225–240.

Шиперович В.Я. Роль энтомофауны в отмирании деревьев в сосново-еловых насаждениях Лисинского учебно-опытного леспромхоза. 1931. М.—Л.: Государственное научно-техническое издательство. С. 202–240.

Щербаков А.Н., Полевой А.В., Хумала А.Э. Вспышка массового размножения короеда-типографа (*Ips typographus* L.) в национальном парке “Водлозерский”. // Достижения энтомологии на службе агропромышленного комплекса, лесного хозяйства и медицины. Тезисы докладов XIII съезда Русского энтомологического общества. Краснодар, 2007. С. 230–231.

Щербаков А.Н., Никитский Н.Б., Полевой А.В., Хумала А.Э. К фауне жесткокрылых насекомых заповедника “Павский” (Insecta, Coleoptera) // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2013. № 6(98). С. 16–21. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20737500>.

Шрейнер Я.Ф. Борьба с вредными насекомыми в Царскосельском императорском парке летом 1900 и 1901 гг. СПб.: Тип. М. Меркушева, 1902. 45 с.

Щербакова Л.Н. Мониторинг состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга и его пригородов. Труды

конференции “Мониторинг состояния зеленого фонда города” // Лесной вестник. 1999. № 2(7). Мытищи: МГУЛ. С. 41–43.

Яковлев Е.В. Некоторые особенности энтомофауны перестойных лесов Карелии // Коренные леса таежной зоны Европы: современное состояние и проблемы сохранения: Материалы Международной научно-практической конференции. Петрозаводск: СДВ-ОПТИМА, 1999. С. 185–186.

Яценковский А.В. Вредные насекомые Тихвинского учебно-опытного леспромхоза. Записки лесной опытной станции Тихвинского учебно-опытного леспромхоза. Вып. 2. Часть 1. Тихвин, 1931. 117 с.

Яценковский А.В. Энтомологическое обследование подсоченных насаждений в Сиверском леспромхозе // Вопросы защиты леса. 1934. № 2. С. 84–104.

Alekseev A.S., Sharma S.K. Long-Term Growth Trends Analysis of Norway Spruce Stands in Relation to Possible Climate Change: Case Study of Leningrad Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry J.]. 2020. № 3. P. 42–54.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-42-54>

Fauna Europaea [<https://fauna-eu.org>]

Hroššo B., Mezei P., Potterf M., Majdák A., Blaženec M., Korolyova N., Jakuš R. Drivers of Spruce Bark Beetle (*Ips typographus*) Infestations on Downed Trees after Severe Windthrow // *Forests*. 2020. № 11. P. 1290.

<https://doi.org/10.3390/f11121290>

ICP-Forest Brief #5 2021. <http://icp-forests.net/page/icp-forests-briefs>

Komonen A., Schroeder L.M., Weslien J. *Ips typographus* population development after a severe storm in a nature reserve in southern Sweden. *J. applied entomology*. 2011. № 135(1–2). P. 132–141.

McKnight T.L., Hess D. *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. 2001. 7th edition. Prentice Hall. 629 p.

Økland B., Flø D., Schroeder M., Zach P., Cocos D., Martikainen P., Siitonen J., Mandelshtam M.Y., Musolin D.L., Neuvonen S., Vakula J., Nikolov C., Lindelöw Å., Voolma K. Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe // *Agricultural and Forest Entomology*. 2019. V. 21. № 3. P. 286–298.

Öhrn P. The spruce bark beetle *Ips typographus* in a changing climate – Effects of weather conditions on the biology of *Ips typographus*. *Introductory Research Essay*. № 18. Department of Ecology, SLU, Uppsala, 2012. 27 p.

Selikhovkin A. Stressing agents in forests of the Kola Peninsula // *Aerial pollution in Kola Peninsula: Proc. of the Int. Workshop*. St.-Petersburg., Apatity, 1993. P. 47–52.

Selikhovkin A., Merkuriev S., Khodachek A. Native and alien tree insect pests: climate change impact and economic losses in Northwestern Russia. *Proceedings: Biology*. 2021. 68 p.

<https://doi.org/10.3390/xxxxx>

The Role of the Stem Pests in Changing the Condition of Coniferous Forests of the North-West of the European Part of Russia

A. V. Selikhovkin^{1, *}, B. G. Popovichev¹, M. Yu. Mandel'shtam¹, and A. S. Alekseyev¹

¹*Saint-Petersburg Forestry University, Institutskiy ln., 5, Saint-Petersburg, 194021 Russia*

**E-mail: a.selikhovkin@mail.ru*

The danger of stem pests' mass reproduction in the Leningrad Region and the Republic of Karelia is increasing. However, data on their populations' state in the northwest of the European part of Russia are scarce and very heterogeneous. They include materials from articles and reviews of the sanitary and forest pathology state, which are in turn based on completely different methodological approaches to obtaining information. Generalisation and analysis of data on the increase in the number of stem pests that pose a danger to coniferous forest stands in the north-west of the European part of Russia, taking into account the materials of scientific reports and forest pathology monitoring, is an urgent task of this paper. The greatest danger to spruce stands is the European spruce bark beetle *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), which forms large-scale centres of mass reproduction. The main factors causing the beginning of the formation of breeding centres are weather conditions (hurricane-force winds and the formation of windblows, an increase in the growing season temperature and a lack of precipitation). At the end of the 20th–beginning of the 21st century, the Leningrad Region saw an increase in frequency of the stem pests' mass reproduction outbreaks, especially the European spruce bark beetle. Since the second half of the 20th century, breeding outbreaks have been also observed in the Republic of Karelia. In the Murmansk region, stem pests do not have a noticeable effect on the forest stands condition. These trends correspond to the temperature increase trends in the Leningrad region and Karelia and an insignificant temperature change in the Murmansk region. Additional nutrition for the pine beetles and sawyer beetles in cases of their mass reproduction is an underestimated factor in the forest stands weakening, which significantly affects the growth and condition of surrounding plantations. The appearance of invasive species, such as the small spruce bark beetle *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Curculionidae: Coleoptera), is a potential danger, but at present this species does not show significant activity in pine and spruce forests in the north of the European part of Russia.

Keywords: *stem pests, north taiga forests, mass reproduction outbreaks, European spruce bark beetle, weather conditions.*

Acknowledgements: The study has been carried out with a financial support from the RSF grant № 21-16-00065.

REFERENCES

- Alekseev A.S., Sharma S.K., Long-Term Growth Trends Analysis of Norway Spruce Stands in Relation to Possible Climate Change: Case Study of Leningrad Region, *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry J.)*, 2020, No. 3, pp. 42–54. DOI 10.37482/0536-1036-2020-3-42-54
- Anan'ev V.A., Raevskii B.V., Grabovik S.I., Korennye elovye lesa Natsional'nogo parka "Vodlozerskii": struktura, dinamika i sostoyanie (Indigenous spruce forests of the Vodlozersky National Park: structure, dynamics and state), *Vodlozerskie chteniya: Estestvennonauchnye i humanitarnye osnovy prirodookhrannoi, nauchnoi i prosvetitel'skoi deyatel'nosti na okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh Russkogo Severa* (Vodlozersky readings: Natural science and humanitarian foundations of environmental, scientific and educational activities in protected natural areas of the Russian North), Petrozavodsk, Proc. of sci.-pract. Conf., dedicated to 15th anniversary of the Vodlozerskii National Park, Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2006, pp. 88–93
- Bartalev S.I., Shvidenko A., Kheld A., Prirodnye narusheniya lesov In: *Lesa Rossii i izmenenie klimata. Chto nam mozhets kazat' nauka?* (Forests of Russia and climate change. What can science tell us?), Evropeiskii institut lesa, 2020, Vol. 11, pp. 21–25. <https://doi.org/10.36333/wscu11>
- Blagovidov A.K., Trofimov N.V., K sanitarnomu sostoyaniyu nasazhdenii Pinezhskogo goszapovednika (To the sanitary state of plantings of the Pinezhsky State Reserve), *Zashchita lesa*, 1979, Vol. 4, pp. 15–18.
- Bondarenko E.A., Golubeva I.B., Obzor lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Leningradskoi, Murmanskoi oblasti i Respubliki Kareliya za 2009 god (Review of the forest pathological state of the forests of the Leningrad, Murmansk regions and the Republic of Karelia for 2009), *Lesnye vesti SZFO*, 2010, No. 2(3), pp. 30–39.
- Bui Din' Dyk, Denisova N.V., Baryshnikova S.V., Shevchenko S.V., Selikhovkin A.V., Aktual'nye izmeneniya vidovogo sostava i plotnosti populyatsii nasekomykh-fillofagov v Sankt-Peterburge (Actual changes in the species composition and the population density of phyllophagous insects in St. Petersburg), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2020, Vol. 230, pp. 73–99. DOI 10.21266/2079-4304.2020.230.73-99
- Bystryakova N.O., Denisova N.V., Dinamika otpada sosny i koroednogo prirosta osnovnykh lubodov v vetroval'nikakh (Dynamics of pine mortality and bark beetle growth of pine beetles in windmills), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 1995, Vol. 3(161), pp. 22–27.
- Dannye Federal'noi lesnoi sluzhby Rossii za 1977–1994 gg. (Data of the Federal Forest Service of Russia for 1977–1994), VNIITslesresurs, 1999. Komitet lesnogo khozyaistva Leningradskoi oblasti. Not published.
- Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiiskoi Federatsii, (Report on climate risks in the Russian Federation), Saint Petersburg: Klimaticheskii tsentr Rosgidrometa, 2017, 106 p.
- Fauna Europaea [<https://fauna-eu.org>]
- Golutvina L.S., Kalinin A.N., Stvolovye vrediteli v elovykh vetroval'nikakh (Stem pests in spruce windfalls), In: *Ekologiya i zashchita lesa* (Ecology and forest protection), Leningrad: LTA, 1986, pp. 7–16.
- Gorokhovnikov A.V., Lebedeva G.S., Sholina M.V., K ekologiyi osnovnoi sovki v Novgorodskoi oblasti (On the ecology of the pine cutworm in the Novgorod region), In: *Ekologiya i zashchita lesa* (Ecology and protection of forest), Leningrad: Izd-vo LTA, 1984, pp. 51–57.
- Grechkin V.P., *Lesopatologicheskaya kharakteristika lesov SSSR po ot-del'nym prirodno-geograficheskim zonam: v 3-kh tomakh* (Forest pathological characteristics of the forests of the USSR for individual natural-geographical zones: in 3 volumes), Pushkino: VNIILM, 2019, Vol. 1. Forest pathological characteristics of the forests of the forest zone, 308 p.
- Gromtsev A.N., Presnukhin Y.V., Sovremennoe sostoyanie lesov i lesopol'zovaniya (Present-day status of forests and situation in forest management), In: *Lesa i ikh mnogotsel'evoe ispol'zovanie na severo-zapade evropeiskoi chasti taezhnoi zony Rossii* (Forests and their multipurpose use in the North-West of the boreal zone of European Russia), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2015, pp. 52–60.
- Hroššo B., Mezei P., Potterf M., Majdák A., Blaženec M., Korolyova N., Jakuš R., Drivers of Spruce Bark Beetle (*Ips typographus*) Infestations on Downed Trees after Severe Windthrow, *Forests*, 2020, No. 11, pp. 1290. doi 10.3390/f1112129
- ICP-Forest Brief #5 2021, available at: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-briefs>
- Izhevskii S.S., Nikitskii N.B., Volkov O.G., Dolgin M.M., *Illyustrirovannyi spravochnik zhukov-ksilofagov – vreditel'ei lesa i lesomaterialov Rossiiskoi Federatsii* (Illustrated guide to xylophagous beetles - pests of forests and timber in the Russian Federation), Tula: Grif i K, 2005, 220 p.
- Izuchenie lesopatologicheskogo sostoyaniya drevostoev severo-zapadnoi zony SSSR. Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote (promezhutochnyi)*, (Study of the forest pathological state of forest stands in the northwestern zone of the USSR. Research report (interim)), Leningrad: LTA, 1984, 42 p.
- Izuchenie lesopatologicheskogo sostoyaniya drevostoev severo-zapadnoi zony SSSR. Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote (zaklyuchitel'nyi)*, (Study of the forest pathological state of forest stands in the northwestern zone of the USSR. Research report (final)), Leningrad: LTA, 1985, 89 p.
- Kataev O.A., Golutvina L.S., Kalinin A.S., Vetroval'v el'nikakh kak sreda, sposobstvuyushchaya massovomu razmnozheniyu koroedov (Windblow in spruce forests as an environment conducive to mass reproduction of bark beetles), In: *Ekologiya i zashchita lesa* (Ecology and forest protection), Leningrad: LTA, 1984, pp. 4–8.
- Kataev O.A., *Kratkaya istoriya Lisinskogo uchebno-opytного leskhoza v lesoentomologicheskoy otnoshenii* (Lisino experimental forest station brief history: forest entomology aspect), Leningrad: Izd-vo LTA, 1948, 88 p.
- Kataev O.A., *Neopublikovannye dannye, lichnye kommentarii k rukopisyam i opublikovannym dannym*, (Unpublished data, personal comments on manuscripts and published data), 1999.

- Kataev O.A., *Obzor sanitarnogo sostoyaniya Lisinskogo lesnogo massiva za 1787–1955 gody. No. 73* (Review of the sanitary condition of the Lisinsky forest area for 1787–1955), Leningrad: LTA, 1956, pp. 49–58.
- Kataev O.A., Osetrov A.V., Popovichev B.G., Selikhovkin A.V., *Dinamika plotnosti populyatsii koroedov (Coleoptera, Scolytidae) v drevostoyakh, oslablennykh prirodnymi i antropogennymi faktormi* (Dynamics of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) population density in the stands weakened by natural or anthropogenic factors), Saint Petersburg: Russkoe entomologicheskoe obshchestvo, 2001, Vol. 54, 82 p.
- Kataev O.A., *Osobennosti razmnzheniya stvolovykh nasekomykh v el'nikakh* (Specifics of reproduction of timber insects in spruce forests), In: *Lesnaya entomologiya* (Forest entomology), Leningrad: Nauka, 1983, pp. 54–108.
- Kataev O.A., *Vtorichnye vrediteli khvoinykh drevostoev Kaliningradskoi oblasti i mery bor'by s nimi. Diss. kand. s.-kh. nauk* (Secondary pests of coniferous stands in Kaliningrad Oblast and the control measures. Candidate's of agric. sci. thesis), Leningrad: LTA, 1952, 257 p.
- Keppen F.P., *Vrednye nasekomye* (Harmful insects), Saint Petersburg: Dep. zemledeliya i sel. prom-sti, 1882, Vol. 2. Special part. I. Orthoptera, beetles and Hymenoptera, 585 p.
- Kerchev I.A., Mandel'shtam M.Y., Krivets C.A., Ilinskii Y.Y., Soyuznyi koroed *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) – novyi chuzherodnyi vid v Zapadnoi Sibiri (Small spruce bark beetle *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae): a new alien species in Western Siberia), *Entomologicheskoe obozrenie*, 2019, Vol. 98, No. 3, pp. 592–599.
- Komonen A., Schroeder L.M., Weslien J., *Ips typographus* population development after a severe storm in a nature reserve in southern Sweden, *J. applied entomology*, 2011, No. 135(1–2), pp. 132–141.
- Kratkii obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Arkhangel'skoi oblasti za 2014 god i prognoz lesopatologicheskoi situatsii na 2015 god*, (A brief review of the sanitary and forest pathological state of the forests of the Arkhangelsk region for 2014 and a forecast of the forest pathological situation for 2015), Arkhangelsk, 28 p.
- Krutov V.I., Shubin V.I., Predtechenskaya O.O., Ruokolainen A.V., Kotkova V.M., Polevoi A.V., Khumala A.E., Yakovlev E.B., *Griby i nasekomye – konsorty lesoobrazuyushchikh drevesnykh porod Karelii* (Fungi and insects – consorts of forest-forming tree species of Karelia), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2014, 216 p.
- Krutov V.I., *Sistema lesozashchitnykh meropriyatii v sosnyakh Karelii* (The system of forest protection measures in the pine forests of Karelia), In: *Sistema lesokhozyaistvennykh meropriyatii v osnovnykh lesakh Karelii* (The system of forest management measures in the pine forests of Karelia), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 1985, pp. 90–101.
- Mamaev N.A., Popovichev B.G., Selikhovkin A.V., *Stvolovye vrediteli v khvoinykh drevostoyakh Karel'skogo peresheika* (The state of forests and the role of xylophagous insects in protected and technogenic territories of the Kola Peninsula), *Aktual'nye voprosy v lesnom khozyaistve* (Topical issues in forestry), Saint Petersburg, Proc. of Intern. Sci.-Pract. Conf. of Young scientists, Saint Petersburg: SINEL, pp. 107–110.
- Mandel'shtam M.Y., Selikhovkin A.V., Koroedy Severo-Zapada Rossii (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae): istoriya izucheniya, sostav i genezis fauny (Bark and ambrosia beetles (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) of North-Western Russia: history of the study, composition and genesis of the fauna), *Entomologicheskoe obozrenie*, 2020, Vol. 99, No. 3, pp. 631–665.
- Maslov A.D., *Koroed-tipograf i usykhaniye elovykh lesov* (European spruce bark beetle and the degradation of spruce forests), Pushkino: Izd-vo VNIILM, 2010, 134 p.
- McKnight T.L., Hess D., *Physical Geography: A Landscape Appreciation*, 2001, Prentice Hall, 629 p.
- Mozolevskaya E.G., Kataev O.A., Sokolova E.S., *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovykh vreditel' i boleznei lesa* (Methods of forest pathological surveys in centers of mass outbursts of pests and diseases of forests), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 152 p.
- Mozolevskaya E.G., Sharapa T.V., *Sostoyaniye lesov i rol' nasekomykh-ksilofagov na zapovednykh i tekhnogennykh territoriyakh Kol'skogo poluoostrova* (The state of forests and the role of xylophagous insects in protected and technogenic territories of the Kola Peninsula), *Lesnoi zhurnal*, 1992, No. 4, pp. 37–42.
- Mozolevskaya E.G., Sharapa T.V., *Vidovoi sostav nasekomykh-ksilofagov Murmanskoi oblasti* (Species composition of the xylophagous insects of the Murmansk province), *Entomol. obozrenie*, 1996, Vol. 75, No. 3, pp. 538–556.
- Naldeen D.F., *Vspyshka massovogo razmnzheniya koroeda-tipografa v natsional'nom parke "Vodlozerskii" Respubliki Kareliya* (Flashes of mass reproduction of the ips-typographus in national park "Vodlozero" of Republic Kareliya), *Lesnoi vestnik*, 2009, No. 5, pp. 126–128.
- Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov na territorii Leningradskoi oblasti v 2010 godu i prognoz lesopatologicheskoi situatsii na 2011 g* (Review of the sanitary and forest pathological state of forests in the Leningrad region in 2010 and forecast of the forest pathological situation for 2011), Saint Petersburg: Tsentr zashchity lesa Leningradskoi oblasti, 2011a, Manuscript, 45 p.
- Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov na territorii Respubliki Kareliya v 2010 godu i prognoz lesopatologicheskoi situatsii na 2011 g* (Review of the sanitary and forest pathological state of forests in the Republic of Karelia in 2010 and forecast of the forest pathological situation for 2011), Petrozavodsk: Tsentr zashchity lesa Leningradskoi oblasti, 2011b, Manuscript, 27 p.
- Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov na territorii Murmanskoi oblasti v 2010 godu i prognoz lesopatologicheskoi situatsii na 2011 g* (Review of the sanitary and forest pathological state of forests in the Murmansk region in 2010 and forecast of the forest pathological situation for 2011), Saint Petersburg: Tsentr zashchity lesa Leningradskoi oblasti, 2011b, Manuscript, 22 p.
- Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Rossii za 1993 g. Leningradskaya oblast'. Federal'naya sluzhba lesnogo khozyaistva RF* (Review of the sanitary and forest pathological state of Russian forests for 1993. Leningrad re-

gion. Federal Forestry Service of the Russian Federation.), Moscow: Rosagroservis, 1994, 126 p.

Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya zemel lesnogo fonda za 2007 god. Federal'noe agentstvo Rossiiskoi Federatsii. (Review of the sanitary and forest pathological state of the forest fund lands for 2007. Federal Agency of the Russian Federation) Pushkino: Rossiiskii tsentr zashchity lesa, 2008a, No. 40/41, 16 p.

Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya zemel' lesnogo fonda za 2007 god. Federal'noe agentstvo Rossiiskoi Federatsii (Review of the sanitary and forest pathological state of the forest fund lands for 2007. Federal Agency of the Russian Federation), Pushkino: Rossiiskii tsentr zashchity lesa, 2008b, No. 46/47, 16 p.

Ogibin B.I., Lobanova A.V., Vliyaniye usachei roda Monochamus na derev'ya i lesomaterialy (Influence of longhorn beetles of the genus Monochamus on trees and timber), In: *Materialy otchetnoi sessii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 1989 god* (Proceedings of the reporting session on the results of research work for 1989), Arkhangel'sk: AILILKh, 1990, pp. 89–71.

Ogibin B.N., *Nasekomye-ksilofagi lesov Evropeiskogo Severa i bor'ba s nimi* (Xylophagous insects in the forests of the European North and their control), Arkhangel'sk: AILILKh, 1989, 28 p.

Öhrn P., The spruce bark beetle *Ips typographus* in a changing climate – Effects of weather conditions on the biology of *Ips typographus*, *Introductory Research Essay*, No. 18, Department of Ecology, SLU, Uppsala, 2012, 27 p.

Økland B., Flø D., Schroeder M., Zach P., Cocos D., Martikainen P., Siitonen J., Mandelshtam M.Y., Musolin D.L., Neuvonen S., Vakula J., Nikolov C., Lindelöw Å., Voolma K., Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe, *Agricultural and Forest Entomology*, 2019, Vol. 21, No. 3, pp. 286–298.

Osetrov A.V., Selikhovkin A.V., Vidovoe raznoobrazie i dinamika plotnosti populyatsii koroedov v khvoynykh drevo-stoyakh, povrezhdennykh sil'nymi vetrami (Species diversity and dynamics of population density of bark beetles in coniferous stands, affected by strong winds), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 1998, No. 6(164), pp. 27–34.

Otchet Komiteta po lesnomu khozyaystvu Respubliki Komi za 1970–1998 gg (Report of the Forestry Committee of the Republic of Komi for 1970–1998), 1998, Not published. Polevoi A.V., Shcherbakov A.N., Khumala A.E., Naldeen D.F., Vspyshka massovogo razmnzheniya koroeda-tipografa (*Ips typographus* L.) kak odno iz posledstviy massovogo vetrovala v Natsional'nom parke "Vodlozerskii" (An outbreak of mass reproduction of the bark beetle-*Ips typographus* L.) as one of the consequences of a massive windfall in the National Park "Vodlozersky" conference dedicated to the 15th anniversary of the Vodlozersky National Park), *Vodlozerskie chteniya: Estestvennonauchnye i humanitarnye osnovy prirodookhrannoi, nauchnoi i prosvetitel'skoi deyatel'nosti na okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh Russkogo Severa* (Vodlozersky readings: Natural science and humanitarian foundations of environmental, scientific and educational activities in protected natural

areas of the Russian North), Petrozavodsk, Proc. of sci.-pract. Conf., dedicated to 15th anniversary of the Vodlozerskii National Park, Petrozavodsk: KarNTs RAN, pp. 96–102.

Popovichev B.A., Koroedy v severnykh raionakh Sankt-Peterburga (Bark beetles in the northern districts of Saint Petersburg), *Lesnoi vestnik*, 2000, No. 6, pp. 135–140.

Popovichev B.G., Kormobionty v elovykh lesakh, podvergayushchikhsya vozddeystviyu vybrosov sinteticheskikh moyushchikh sredstv (Kormobionts in spruce forests exposed to emissions of synthetic detergents), In: *Ekologiya i zashchita lesa* (Ecology and forest protection) Leningrad: LTA, 1988, pp. 68–70.

Rezul'taty lesopatologicheskogo monitoringa v Rossiiskoi federatsii za 1966–1998 gg. Federal'naya sluzhba lesnogo khozyaystva Rossii. Komitet lesnogo khozyaystva Leningradskoi oblasti (Results of forest pathological monitoring in the Russian Federation for 1966–1998. Federal Forestry Service of Russia, Forestry Committee of the Leningrad Region), 2002. Not published.

Saichenko G.P., Rasprostraneniye stvolovykh vreditel'nykh sosnyakakh posle pozharov (Distribution of stem pests in pine forests after fires), In: *Materialy ezhegodnoi nauchnoi sessii Arkhangel'skogo instituta lesnogo khozyaystva i lesokhimii za 1972 g* (Materials of the annual scientific session of the Arkhangel'sk Institute of Forestry and Wood Chemistry for 1972), Arkhangel'sk, 1973, pp. 70–73.

Selikhovkin A., Merkuriev S., Khodachek A., Native and alien tree insect pests: climate change impact and economic losses in Northwestern Russia, *Proceedings: Biology*. 2021, 68 p.

<https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Selikhovkin A., Stressing agents in forests of the Kola Peninsula, In: *Aerial pollution in Kola Peninsula*: Proc. of the Int. Workshop. St. Petersburg, Apatity, 1993, pp. 47–52.

Selikhovkin A.V., Akhmatovich N.A., Varentsova E.Y., Popovichev B.G., Razmnzheniye koroeda tipografa i drugih dendropatogennykh organizmov na Karel'skom peresheike (Regeneration of European spruce bark beetle and other wood pathogens in forests of the Karelian Isthmus), *Lesovedenie*, 2018, No. 6, pp. 426–433.

Selikhovkin A.V., Baryshnikova S.V., Denisova N.V., Timofeeva Y.A., Vidovoi sostav i dinamika plotnosti populyatsii dominiruyushchikh cheshuekrylykh-dendrofagov v Sankt-Peterburge i ego okrestnostyakh (Species composition and population dynamics of dominant dendrophagous moths (Lepidoptera) in St. Petersburg and its environs), *Entomologicheskoe obozrenie*, 2018, Vol. 97, No. 4, pp. 617–639.

Selikhovkin A.V., Effektivnost' sanitarno-ozdorovitel'nykh meropriyatii v sovremennykh usloviyakh na primere Leningradskoi oblasti (Efficiency of sanitary measures in coniferous forests in current conditions on the example of the Leningrad region), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2017, No. 221, pp. 35–51.

Selikhovkin A.V., Glebov R.N., Magdev N.G., Akhmatovich N.A., Popovichev B.G., Otsenka roli nasekomykh i dendropatogennykh organizmov v usykhaniy drevostoev Leningradskoi oblasti i respubliki Tatarstan (Contribution of insects and pathogens to stands die-back in Leningrad

- Oblast and the Republic of Tatarstan), *Lesovedenie*, 2016, No. 2, pp. 83–95.
- Selikhovkin A.V., *Regulyatornaya gil'otina i effektivnost' lesozashchity* (Regulatory guillotine and efficiency of forest protection), *Les Rossi: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie* (Forests of Russia: politics, industry, science, education), Saint Petersburg, Proc. of 6th All-Russian sci.-tech. Conf., Saint Petersburg: SPbGLTU, Vol. 2, pp. 152–155.
- Selikhovkin A.V., Varentsova E.Y., Popovichev B.G., *Sploshnye sanitarnye rubki kak metod kontrolya plotnosti populyatsii stvolovykh vreditel'ei i rasprostraneniya dendropatogennykh organizmov v sovremennykh usloviyakh na primere Leningradskoi oblasti* (Clear sanitation felling as a method of control of the population density of stem pests and spreading of dendropathogenic organisms under the current conditions using Leningrad region as a case study), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2017, No. 220, pp. 186–199.
- Sharapa T.V., Shcherbakov A.N., *Rezul'taty lesopatologicheskogo monitoringa v khvoinykh nasazhdeniyakh zapovednika "Kivach"* (The results of forest pathological monitoring in the coniferous plantations of the Kivach Reserve), Petrozavodsk, Proc. of International Sci.-Pract. Conf.: SDV-OP-TIMA, 1999, 221–222 p.
- Shcherbakov A.N., Nikitskii N.B., Polevoi A.V., Khumala A.E., *K faune zhestkokrylykh nasekomykh zapovednika "Pasvik"* (Insecta, Coleoptera) (To the beetle fauna of the Pasvik Nature Reserve (Insecta, Coleoptera)), *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik*, 2013, No. 6(98), pp. 16–21, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20737500>
- Shcherbakov A.N., Polevoi A.V., Khumala A.E., *Vspyshka massovogo razmnzheniya koroeda-tipografa (Ips typographus L.) v natsional'nom parke "Vodlozerskii"* (Flashes of mass reproduction of the ips-typographus (*Ips typographus* L.) in national park "Vodlozero"), *Dostizheniya entomologii na sluzhbe agropromyshlennogo kompleksa, lesnogo khozyaistva i meditsiny* (Achievements of entomology in the service of the agro-industrial complex, forestry and medicine), Krasnodar, Abstracts of Papers of 13th Russian Entomological Society congress, pp. 230–231.
- Shcherbakova L.N., *Monitoring sostoyaniya zelenykh nasazhdenii Sankt-Peterburga i ego prigorodov*. Trudy konferentsii "Monitoring sostoyaniya zelenogo fonda goroda" (Monitoring the state of green spaces in St. Petersburg and its suburbs. Proceedings of the conference "Monitoring the state of the green fund of the city"), *Lesnoi vestnik*, 1999, No. 2(7), pp. 41–43.
- Shchreiner Y.F., *Bor'ba s vrednymi nasekomymi v Tsarsko-sel'skom imperatorskom parke letom 1900 i 1901 gg* (The fight against harmful insects in the Tsarskoye Selo Imperial Park in the summer of 1900 and 1901), Saint Petersburg: Tip. M. Merkusheva, 1902, 45 p.
- Shevyrev I.Ya., *Opustoshitel'noe razmnzhenie koroedov v srednei Rossii s 1882 g. po 1894 g. i popytki bor'by s nimi* (Devastating reproduction of bark beetles in Central Russia from 1882 to 1894 and attempts to control them), 1985 (?), Separate print without indication of ownership and year of publication, 23 p.
- Shiperovich V.Y., *Generatsii u koroedov i metodika opredeleniya chisla generatsii* (Generations in bark beetles and a method for determining the number of generations), In: *Priroda i khozyaistvo uchebno-opytnykh lesnichestv Leningradskogo lesnogo instituta* (Nature and economy of educational and experimental forestries of the Leningrad Forestry Institute), Moscow: Novaya Derevnnya, 1928, Separate print without indicating the affiliation and year of publication, pp. 225–240.
- Shiperovich V.Y., *Rol' entomofauny v otmiraniy derev'ev v sos-novo-elovykh nasazhdeniyakh Lisinskogo uchebno-opyt-nogo lespromkhozha* (The role of entomofauna in the death of trees in pine-spruce plantations of the Lisinsky educational and experimental forestry enterprise), Moscow–Leningrad: Gosudarstvennoe nauchno-tekhicheskoe izdatel'stvo, 1931, pp. 202–240.
- Sostoyanie i okhrana okruzhayushchei sredy Arkhangel'skoi oblasti za 2018 g. Doklad. Ministerstvo prirodnnykh resursov i lesopromyshlennogo kompleksa Arkhangel'skoi oblasti* (State and environmental protection of the Arkhangelsk region for 2018. Report. Ministry of Natural Resources and Timber Industry of the Arkhangelsk Region), Arkhangelsk: 2019, 454 p.
- Tal'man P.N., Yatsentkovskii A.V., *Vrednye nasekomye elovykh i elovo-listvennykh lesov i mery bor'by s nimi* (Harmful insects of spruce and spruce-deciduous forests and measures to combat them), Leningrad: Goslestekhzdat, 1938, 103 p.
- Titkova T.B., Vinogradova V.V., *Izmeneniya klimata v perekhodnykh prirodnnykh zonakh severa Rossii i ikh proyavlenie v spektral'nykh kharakteristikakh landshaftov* (Climate changes in transitional natural areas of Russian Northern regions and their display in landscape spectral characteristics), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 5, pp. 310–323.
- Uzenbaev S.D., Krutov V.I., *Koroed-dendrocton (Dendroctonus micans Kug. Coleoptera, Scolytidae) v Karelii* (Dendrocton bark beetle (Dendroctonus micans Kug. Coleoptera, Scolytidae) in Karelia), In: *Entomologicheskie issledovaniya v zapovednike "Kivach"* (Entomological research in the Kivach Reserve), Petrozavodsk: KarNTs AH SSSR, 1991, pp. 138–145.
- Vlasova E.G., Evdoshuk V.L., Aspednikova T.V., *Otchet o rabote Arkhangel'skoi stantsii zashchity lesa v 1981–1988 gg* (Report on the work of the Arkhangelsk Forest Protection Station in 1981–1988), Arkhangelsk, 1988, Not published.
- Vlasova E.G., *Obzor sanitarnogo sostoyaniya lesov Arkhangel'skoi oblasti za 1981–1988 gg* (Review of the sanitary state of forests in the Arkhangelsk region for 1981–1988), Arkhangelsk, 1989, Not published.
- Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* (Second Roshydromet assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation), Technical summary, Moscow: Rosgidromet, 2014, 94 p.
- Yakovlev E.V., *Nekotorye osobennosti entomofauny pere-stoinykh lesov Karelii* (Some features of the entomofauna of overmature forests of Karelia), *Korennyye lesa taezhnoi zony Evropy: sovremennoe sostoyanie i problemy sokhraneniya* (In-

digenous forests of the taiga zone of Europe: current state and conservation problem), Petrozavodsk, Proc. of International Sci.-Pract. Conf., Petrozavodsk: SDV-OPTIMA, pp. 185–186.

Yatsentkovskii A.V., Entomologicheskoe obsledovanie pod-sochennykh nasazhdenii v Siverskom lespromkhoze (Entomological examination of tapped plantations in the Siversky timber industry enterprise), *Voprosy zashchity lesa*, 1934, No. 2, pp. 84–104.

Yatsentkovskii A.V., Vrednye nasekomye Tikhvinskogo uchebno-opytного lespromkhoza (Harmful insects of the Tikhvin educational and experimental timber industry enterprise), In: *Zapiski lesnoi opytной stantsii Tikhvinskogo*

uchebno-opytного lespromkhoza (Notes of the forest experimental station of the Tikhvin educational and experimental timber industry), Tikhvin: 1931, Vol. 2, Part 1, 117 p.

Zhigunov A.V., Semakova T.A., Shabunin D.A., Massovoe usykhaniye lesov na severo-zapade Rossii (Mass drying up of forests in the north-west of Russia), *Lesobiologicheskie issledovaniya na Severo-Zapade taezhnoy zony Rossii: itogi i perspektivy* (Forest biological research in the North-West of the taiga zone of Russia: results and prospects), Petrozavodsk, Proc. of Sci. Conf., dedicated to the 50th anniversary of the Forest Institute of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 3–5 October, 2007, KarNTs RAN, pp. 42–52.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ ХОЗЯЙСТВА В ГОРНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© 2023 г. Н. А. Битюков*

*а*Сочинский национальный парк, ул. Московская, д. 21, Сочи, 354000 Россия

**E-mail: nikbit@mail.ru*

Поступила в редакцию 13.12.2021 г.

После доработки 07.05.2022 г.

Принята к публикации 18.10.2022 г.

В статье приведен анализ исторических данных по организации и состоянию геоэкологических исследований в горных лесах России и Северного Кавказа. На примере регионального мониторинга горных лесных экосистем показана организация многоцелевого природопользования в пределах горных водосборных бассейнов. По результатам экспериментального материала, полученного многолетним мониторингом на комплексных лесогидрологических стационарах с постановкой активных экспериментов, даны рекомендации по лесопользованию в горах. Показан пример получения информации экспедиционными методами, а также компьютерное моделирование лесохозяйственного освоения в условиях горных регионов. Предложены научные принципы и экологические основы ведения хозяйства в лесах горных регионов страны.

Ключевые слова: Северо-Западный Кавказ, Сочинский национальный парк, лесогидрологические стационары, речная сеть, бассейны рек, водоохранно-защитные функции леса, способы рубок, принципы освоения лесных ресурсов.

DOI: 10.31857/S0024114823030026, **EDN:** PSQZWK

Лесное хозяйство Российской Федерации в настоящее время продолжает оставаться во многом отсталой отраслью, требующей существенной модернизации основных направлений деятельности с использованием современных инновационных научно-технических достижений¹. По разным причинам в последние годы уменьшилась площадь насаждений таких ценных твердолиственных пород, как ясень на Дальнем Востоке, дуб и бук в районах Северного Кавказа, а также хвойных лесов в северных и дальневосточных районах страны. В местах интенсивного использования лесов наблюдается изменение их ресурсного и экологического потенциала, сокращение видового и экосистемного разнообразия. В то же время при интенсификации освоения лесов необходимо предусмотреть комплекс мер по сохранению их биологического разнообразия, экологического потенциала, экологизацию применяемых технологий и реализацию мероприятий ограничительного характера.

Для горных регионов (Кавказ, Урал, Средняя Сибирь, Дальний Восток), в Украинских Карпатах геоэкологические исследования в лесах вхо-

дили составной частью в экологические программы в связи с оценкой последствий лесопользования при различных технологических воздействиях на лесную среду. Так, проведенными стационарными исследованиями на малых водосборах в буковых и еловых лесах Карпат установлено, что под влиянием рубки леса существенно изменяются размеры склонового и грунтового стока. При этом восстановления первоначального режима не происходит даже в течение 40–50 лет (Коваль и др., 2012).

Как известно, ценность и перспективы мониторинговых исследований лесных экосистем определяются продолжительностью проводимых экспериментальных наблюдений. В отличие от сельскохозяйственных культур, где цикл развития диктуется продолжительностью вегетационного периода, для лесных экосистем последствия хозяйственных воздействий можно проследить только в течение десятилетних сукцессиональных изменений. В связи с этим организация и функционирование стационарных пунктов мониторинга лесов имеют важнейшее значение для понимания перспектив состояния лесной растительности в современном меняющемся мире.

Нужно отметить, что в прошлом столетии понимание важности задач исследования лесных

¹ http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/projects/189/GP_RAZVITIE_LESNOGO_HOZYAYSTVA.pdf

сообществ в стране привело к повсеместному развитию лесных стационаров, о чем свидетельствуют материалы проведенного в Москве в сентябре 2001 года совещания, на котором заслушаны более 250 докладов по различным вопросам мониторинга лесных экосистем практически по всем регионам страны (Лесные стационарные исследования ..., 2001).

История геоэкологических исследований в горных лесах Северо-Западного Кавказа берет своё начало в период 1960–1970 гг., и связана она с необходимостью научного обоснования лесохозяйственного и курортного освоения этой территории. К послевоенному периоду относится максимальное внимание как к сырьевой базе Черноморского побережья, так и к рекреационному потенциалу самой теплой зоны страны. В связи с этим существовала необходимость в разработке научно обоснованных правил и рекомендаций по проведению рубок главного и промежуточного пользования лесом, их способов и технологии проведения, а также рекомендаций по лесовосстановлению и лесоразведению.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Северный Кавказ — часть территории Большого Кавказа между Черным и Азовским морями на западе и Каспийским — на востоке, с северной границей по Кумо-Манычской впадине и южной — по Главному (Водораздельному) хребту. На западе граница региона проходит по побережью Азовского моря, на востоке — вдоль берега Каспийского моря до устья р. Самур. К Северному Кавказу относят также западную часть Черноморского побережья до границы с Абхазией (р. Псоу).

Северный Кавказ в пределах территории России рассматривается как относительно целостный горный ландшафт, представленный совокупностью сложных природных комплексов, достоверно различающихся по физико-географическим параметрам (орографическим, климатическим, биотическим) и социальным. На северном склоне Большого Кавказа В.М. Чупахин выделяет три типа структуры высотной ландшафтной зональности: западно-кавказский, центрально-кавказский и восточно-кавказский — со своеобразными наборами высотных ландшафтных зон, высотных ландшафтных поясов, располагающихся в границах определенных абсолютных высот и характеризующихся определенными климатическими параметрами, своеобразными комплексами почв и растительности.

Рельеф Черноморского побережья региона характеризуется более сильной расчлененностью и крутыми склонами, что способствует быстрому

стоку атмосферных осадков, развитию эрозийных процессов, поэтому леса здесь оказывают исключительно большое влияние на режим гидрографической сети. Эта часть территории занимает район южного склона Большого Кавказа в его северо-западной части. С северо-востока она ограничена Черноморской горной цепью и Главным Водораздельным хребтом, на юго-западе омывается Черным морем, в юго-восточной части граничит с Абхазией по р. Псоу.

Основную часть изучаемой территории занимают горы, сложенные преимущественно глинистыми сланцами, мергелями, известняками, частично песчаниками. Наибольших высот горы достигают на юго-востоке района (2500–3250 м над ур. моря), к северо-западу они постепенно снижаются в районе Туапсе — до 1100 м, у Геленджика — до 790 м, у Новороссийска — до 650 м, у Анапы — до 350 м над ур. моря.

С удалением от берега моря к Черноморской горной цепи и Водораздельному хребту увеличение высоты местности происходит сравнительно быстро. Местности с отметками высот до 250 м занимают около 40% площади региона, с отметками 250–1000 м — 45% и с отметками 1000–3000 м над ур. моря — около 15% площади.

Черноморское побережье Северо-Западного Кавказа являлось основным районом изучения водоохранно-защитных функций горных лесов. В узкой прибрежной юго-восточной части этого региона находится зона влажных субтропиков. С увеличением абсолютных высот и удалением от берега моря климат становится холоднее, увеличивается количество осадков, вегетационный период сокращается, соответственно, изменяется характер растительности. Водораздельный хребет в этой части района надежно защищает побережье от вторжения холодных воздушных масс с северо-востока.

Средняя годовая температура воздуха на всей территории положительная, с удалением от берега моря и с увеличением абсолютных высот она понижается. Средняя месячная температура наиболее холодного месяца (января) в прибрежной полосе имеет следующую многолетнюю норму: в Анапе — +1.1, в Новороссийске — +2.5, в Туапсе — +4.3, в Сочи — +5.7, а в горной части, на Маркотхском перевале (высота 436 м над ур. моря), — +1.5, в Гойтхе (325 м) — +0.9, в Красной Поляне (564 м) — -0.2, на Ачишхо (1880 м над ур. моря) — -5.5°C.

Подробная характеристика природных условий изучаемого района дана нами ранее в опубликованных монографиях и статьях (Битюков, Ткаченко, 2017; Битюков, 2007, 2013, 2018).

Объектом изучения служили горные леса регионов страны и ведение хозяйства в них. Как тип растительного покрова горных территорий, горные леса имеют чрезвычайно важное ресурсное и средоформирующее значение. В них сосредоточены наиболее ценные древесные породы, использование лесосырьевых ресурсов которых требует специальных экологических технологий. Исходя из физико-географического определения горных природных территориальных комплексов (ПТК) различного ранга, а также их геоморфологической характеристики, горными следует считать леса, расположенные в пределах горных экосистем и отдельных горных массивов с колебаниями относительных высот местности более 100 м и средним уклоном поверхности от подножия до вершины горных хребтов или до границы безлесных пространств более 5°, независимо от того, что отдельные участки склона могут иметь крутизну менее 5°, а также леса на горных плато и плоскогорьях без учета уклона местности.

История геоэкологических исследований на Северном Кавказе

Научное обеспечение ведения лесного хозяйства в горных лесах региона с конца 40-х годов прошлого столетия осуществляли Сочинская лесная опытная станция субтропического лесного и лесопаркового хозяйства (СочНИЛОС), Северо-Кавказская лесная опытная станция (СКЛОС), которые в 1976 г. были преобразованы в Кавказский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (КФ ВНИИЛМ), который затем в мае 1992 г. приказом по Комитету лесного хозяйства России был преобразован в Научно-исследовательский институт горного лесоводства и экологии леса (НИИгорлесэкол). Кавказский филиал Центрального научно-исследовательского института механизации и энергетики лесной промышленности (КФ ЦНИИМЭ) осуществлял научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по механизации лесосечных, лесотранспортных, погрузочно-разгрузочных и нижескладских работ. Базовыми предприятиями для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ являлись Гузерипльский опытный леспромхоз ЦНИИМЭ, Лооский опытный лесхоз НИИгорлесэкол, а также Сочинский национальный парк.

Для исследований по этой тематике была организована и длительное время функционировала сеть лесных научных организаций под общим руководством Научно-исследовательского института горного лесоводства и экологии леса (НИИ-

горлесэкол), включающая зональные лаборатории (Геленджикскую, Кисловодскую, Северо-Осетинскую, Северо-Кавказскую ЛОС), а также опорные пункты в Псебае и лесогидрологические стационары (“Аибга” и “Горский”).

Как было указано в Уставе НИИгорлесэкол, Федеральное государственное учреждение “Научно-исследовательский институт горного лесоводства и экологии леса” создано в 1944 г. как Сочинский опытно-показательный парк “Дендрарий”. Приказом № 1070 по Народному комиссариату лесной промышленности парк “Дендрарий” реорганизован в Лесную опытную станцию субтропического лесного и лесопаркового хозяйства (СочНИЛОС), которая в 1976 г. преобразована в Кавказский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института лесоводства и механизации (Кавказский филиал ВНИИЛМ).

Приказом Комитета по лесу Министерства экологии и природных ресурсов Российской Федерации от 05.06.92 № 103 Кавказский филиал ВНИИЛМа был реорганизован в ФГУ “НИИгорлесэкол”. Предметом и целью научно-экологической деятельности НИИгорлесэкол было проведение научных работ, исследований в области охраны окружающей среды, охраны, воспроизводства, использования лесов, водных ресурсов на особо охраняемых природных территориях, а также услуг в области научно-экологического просвещения. Эти задачи включали разработку научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере природопользования и охраны окружающей среды, влияния антропогенного воздействия на естественные экосистемы (совокупность сосуществующих видов растений, животных, грибов, микроорганизмов) и их компоненты, ориентированные на получение новых знаний о процессах, эффектах, явлениях и состоянии естественных экосистем для обеспечения их сбалансированного развития; осуществление работ по мониторингу, сбору и обработке информации о состоянии экосистем для научного обеспечения исследований и создания геоинформационных систем и информационных баз данных. В задачи НИИгорлесэкол также были включены разработки предложений по нормативно-правовому регулированию вопросов возмещения вреда окружающей среде, причиненного экологическими правонарушениями, разработки мер по сохранению биологического и ландшафтного разнообразия, всемирного природного наследия и природных комплексов особо охраняемых природных территорий, научно-методического обеспечения разработки лесохозяйственных регламентов лесничеств, лесопарков,

проектов освоения лесов на землях особо охраняемых природных территорий.

Как видно из перечня задач, коллективом института НИИгорлесэкол выполнялась важная роль в изучении и проведении лесохозяйственной деятельности во всем регионе Северного Кавказа, включая и Черноморское побережье. Результаты проведенных в разные годы ФГУ “НИИгорлесэкол” и его предшественниками исследований легли в основу следующей научно обоснованной нормативной базы по ведению лесного хозяйства в горных лесах Северного Кавказа:

- Правила рубок главного пользования в горных лесах Северного Кавказа;

- Наставление по рубкам ухода в горных лесах Северного Кавказа;

- Инструкция по заготовке древесины с применением вертолетов Ми-8 и Ка-32 в горных условиях;

- Руководство по лесовосстановлению и лесоразведению в горных районах Северного Кавказа;

- Система мероприятий с лесоводственно-экологическими нормативами по сохранению и усилению водоохранно-защитных функций горных лесов Северного Кавказа;

- Лесотаксационные нормативные справочники;

- Рекомендации по выявлению, рациональному рекреационному использованию и восстановлению ценных лесных комплексов Северного Кавказа;

- Руководство по плантационному выращиванию лесных лекарственных растений в лесохозяйственных предприятиях Северного Кавказа;

- Рекомендации по авиационному применению бактериальных препаратов в борьбе с американской белой бабочкой;

- Руководство по надзору и методике прогнозирования численности важнейших хвое-листогрызущих насекомых;

- Временные указания по ведению рубок обновления в горных лесах Северного Кавказа.

В последние годы существования института (2008–2012 гг.) внимание коллектива ФГУ “НИИгорлесэкол” было сосредоточено на разработке следующих проблем (не закончены в связи с закрытием института):

- основ комплексного экологического мониторинга горных лесов Северного Кавказа и основных положений по режиму ведения лесного хозяйства в зонах санитарной охраны источников водоснабжения;

- системы мероприятий по повышению продуктивности вторичных лесов, которые образовались на площадях, пройденных рубками;

- нормативов и технологий рубок обновления и переформирования;

- системы ведения хозяйства в каштановых лесах;

- основ лесосеменного районирования и создания базы основных лесообразующих пород;

- методов интродукции, акклиматизации, расширения родových комплексов древесно-кустарниковых пород;

- мер борьбы с пяденицами и акациевой огневкой в лесах Северного Кавказа и оценка патологического состояния лесов Сочинского национального парка.

Были начаты исследования по рубкам ухода на рекультивированных вырубках, семеноводству и селекции основных лесообразующих пород на Северном Кавказе, разработке технологий рубок ухода и реконструкции в степных, пойменных и защитных насаждениях Северного Кавказа, разработке рекомендаций по ведению хозяйства в дубовых лесах, подверженных техногенным загрязнениям, облесению горных склонов Северного Кавказа.

ФГУ “НИИ горного лесоводства и экологии леса” являлся ведущим и единственным государственным научным учреждением лесной отрасли на Северном Кавказе. За весь период работы в этой отрасли неоднократно менялись как название учреждения, его коллектив, дислокация, так и задачи. За указанный период Кавказский филиал ВНИИЛМ был преобразован в самостоятельное научное учреждение, сложился работоспособный, инициативный научно-производственный коллектив общей численностью 320 человек, из них 83 человека представляли научную часть, в составе которой 10 докторов и 23 кандидата наук. Прделана большая работа по сохранению и умножению коллекции всемирно известного парка “Дендрарий” с ремонтом малых архитектурных форм, восстановлением и прокладкой инженерных сетей и коммуникаций.

Создание Сочинского национального парка в семидесятые годы было инициировано группой ученых НИИгорлесэкол на базе Лазаревского, Сочинского лесхозов и Адлерского лесокомбината. Эта работа завершилась принятием Постановления Совета Министров РСФСР от 5 мая 1983 г. № 214 “О создании Сочинского государственного природного национального парка”. В настоящее время Сочинский нацпарк располагается на территориях муниципального образования город-курорт Сочи и части Туапсинского района Крас-

нодарского края. Как указано в Положении о нацпарке, Сочинский национальный парк, первый в РСФСР, учрежден в 1983 г. и создан для сохранения и восстановления природных комплексов и объектов, имеющих высокую средоохранную, научную и рекреационную ценность. Достижение этой цели связано с решением задач по охране сообществ растений и животных, редких и исчезающих видов флоры и фауны, созданию условий для развития длительного и кратковременного отдыха, природоохранительного просвещения населения, разработки и внедрения научных методов сохранения и восстановления природных комплексов.

В данной статье кратко изложены основные выводы по проведенным геоэкологическим исследованиям в горных лесах Северного Кавказа, имеющим, на наш взгляд, не только региональное значение, но и общие закономерности для всех горных регионов страны. Авторами была подготовлена и опубликована обзорная монография по экологическим основам горного лесоводства, обобщающая особенности ведения лесного хозяйства в горных лесах Северо-Запада европейской части России, Урала, Западной Сибири, Средней Сибири, Восточной Сибири, Дальнего Востока, Камчатки и Сахалина, а также Северного Кавказа (Коваль и др., 2012). Программа и методы изучения лесных экосистем включали как проведение активных экспериментов на стационарных пунктах элементарных водосборов, так и многочисленные экспедиционные исследования водоохранно-защитных функций лесов. Особенности методики стационарных и экспедиционных исследований подробно изложены в статьях и монографиях сотрудников НИИ горного лесоводства и экологии леса (Коваль, Битюков, 2000, 2001; Битюков, 1996, 2007, 2013, 2015, 2018; Битюков, Ткаченко, 2017; Битюков и др., 2019; Битюков, Шагаров, 2013, 2016, 2020; и др.).

Ввиду того, что следствием закрытия научно-исследовательских организаций практически во всех регионах страны является прекращение геоэкологических научных работ в горных лесах, сведения и выводы, приведенные в данной статье, имеют как историческое, так и общенаучное значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2012 г. Сочинский национальный парк и институт НИИгорлесэкол были объединены. Как указано выше, парк в основном занимает территорию Большого Сочи: от границ с Туапсинским районом, между устьями рек Шепси и Магри на северо-западе, до границ с Абхазией по р. Псоу на

юго-востоке, и от побережья Черного моря до водораздельной линии Главного Кавказского хребта. На 1986 г. площадь его земель составила 184500 га, на 1987 г. — 190000 га, а с учетом перспектив развития она возрастет до 247400 га, т.е. примерно на 25%. Географически национальный парк расположен в северо-западной части Большого Кавказа, на его причерноморском макросклоне. В нем представлены ландшафты Северо-Черноморской и Колхидской горной провинций. Климат побережья и низких гор характеризуется преобладанием в течение всего года комфортных и субкомфортных погод, за исключением отдельных дней с сильными ветрами и резкими понижениями температур зимой и ранней весной. Среднегорье по климатическим характеристикам также в течение всего года пригодно для рекреационного использования: весной, летом и осенью — для пешего туризма, зимой — для лыжного.

В соответствии с Положением о нацпарке, его территория зонирована для рационального природопользования на 4 зоны: заповедная зона площадью 63974 га; особо охраняемая зона площадью 35869 га; рекреационная зона и зона хозяйственного назначения.

Подробная характеристика природных условий парка дана нами во многих монографиях и статьях (Битюков, 1988, 2007, 2013, 2018).

В силу того, что по результатам почти полувековых наблюдений на двух лесогидрологических стационарах НИИгорлесэкол был накоплен значительный экспериментальный материал, были подготовлены монографии, подводившие итоги мониторинговых геоэкологических исследований в буковой и дубравной зонах Северного Кавказа. (Битюков и др., 2008, 2012; Битюков, 2018). Ниже приводится описание лесогидрологических стационаров (ЛГС) “Аибга” и “Горский”, проведение активных экспериментов на них и основные результаты мониторинга лесных экосистем. При этом мониторинг элементов среды проводился по общепризнанным методикам (Наставления гидрометеорологическим станциям ..., 1975).

Мониторинг лесных экосистем в буковой зоне региона

Для изучения геоэкологических функций буковых насаждений был организован в 1963–1965 гг. лесогидрологический стационар “Аибга” (ЛГС “Аибга”) (Коваль, 1970; Битюков и др., 2012). Расположен он в юго-восточной части Черноморского побережья Кавказа (в бассейне р. Мзымты — в настоящее время Южный отдел Сочинского национального парка). ЛГС “Аибга” находится на водоразделе рек Псоу и Мзымты на высотах от 485

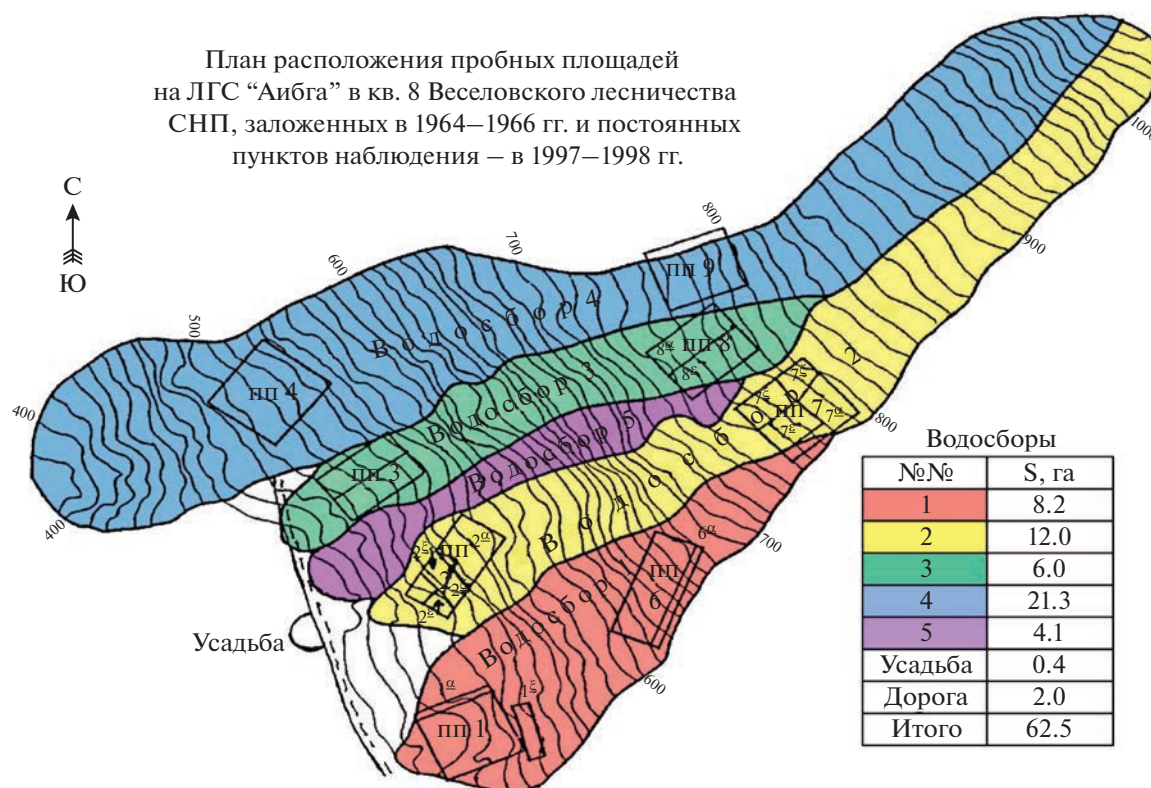


Рис. 1. Расположение водосборов и пробных площадей ЛГС “Аибга”.

до 1150 м над ур. моря, на общем склоне юго-западной экспозиции со средней крутизной 25° (рис. 1). По условиям местопроизрастания его территория является репрезентативной для зоны буковых лесов и включает четыре водосбора размером от 5.7 до 19.9 га. В период 1963–1970 гг. на стационаре были проведены калибровочные исследования в не затронутых рубками буковых насаждениях. В последующие годы (в 1972–1973 гг.) на трех из 4-х водосборов были выполнены опытно-производственные рубки леса (сплошнолесосечная — на водосборе № 1, котловинная трехприемная — на водосборе № 2 и добровольно-выборочная — на водосборе № 3). Результаты воздействия рубок на элементы среды были исследованы в течение последующих 40 лет. На водосборе № 1 была выполнена сплошнолесосечная рубка с тракторной технологией лесозаготовок и трелёвкой по горизонтальным пасечным волокам. На водосборе № 2 проведена котловинная трехприемная рубка с 5-летним периодом между каждым приёмом.

На водосборе № 3 выполнена добровольно-выборочная рубка с выборкой 16 и 32% по запасу. Водосбор № 4 оставлен в качестве контрольного, без хозяйственного воздействия (рис. 1–2).

Помимо гидрометеорологических работ, выполняемых по методикам гидрометслужбы (это контролировалось отделом Гидрометфонда Северо-Кавказского УГМС), на стационаре “Аибга” проводились специальные лесотаксационные, технологические, гидрологические и другие исследования в соответствии с разрабатываемыми методиками, которые впоследствии служили научным обоснованием для разработки технических рекомендаций и инструкций по ведению лесного хозяйства в горных лесах Кавказа (рис. 3) (Битюков, 2015).

В 2012 г. в связи с присоединением института НИИгорлесэкол к Сочинскому национальному парку лесогидрологический стационар “Аибга” был закрыт, и наблюдения были прекращены. Ввиду невозможности возврата экосистем в прежнее состояние после хозяйственных воздействий на них, последствия нарушений не могут быть оценены, и можно считать эти экосистемы безвозвратно утерянными.

Выполненный комплексный экологический мониторинг в естественных буковых насаждениях и пройденных различными способами рубок показал, что видимых признаков деградации древостоев на ЛГС “Аибга” не наблюдается. В буковых древостоях, произрастающих на водосборах



Рис. 2. Гидрометрические посты на 2-ом и 4-ом ручьях ЛГС “Аибга” для учета ручьевого стока с помощью самописцев (оригинальная конструкция водосливов разработана авторами).

ЛГС “Аибга”, после сплошнолесосечной и 3-х приемов группово-постепенных котловинных рубок рекомендуется своевременное прореживание с уборкой сопутствующих пород, мешающих росту главной породы, отставших в росте и пораженных болезнями деревьев бука и других ценных пород. (Коваль и др., 2012). Полученные по результатам многолетних исследований зависимости показали устойчивую тенденцию к стабилизации экологи-

ческого потенциала насаждений к 20–30-летнему возрасту вырубков. При этом способ рубки оказывает существенное влияние на процесс восстановления развития травяного покрова под пологом леса. Если для площадей рубок сплошнолесосечной и добровольно-выборочной в возрасте 15 лет и старше фитомасса травостоя практически одинакова с контролем, то для группово-постепенной (котловинной) рубки различия в 4 и более раз наблюдаются практически к 30-летнему возрасту (Битюков, 2013).

Длительные наблюдения на элементарных водосборах в буковой зоне Северо-Западного Кавказа позволяют сделать вывод о том, что рубки главного пользования приводят к значительным изменениям как в биотической составляющей лесных экосистем, так и в условиях местопроизрастания. Возврат затронутых хозяйственной деятельностью лесных экосистем к исходному состоянию, по-видимому, невозможен. В результате возникают вторичные лесные экосистемы, отличающиеся по своим характеристикам от первичных и имеющие иные взаимоотношения между отдельными элементами (Битюков, Шагаров, 2020).

Необходимо отметить, что результаты исследований в буковых лесах региона неоднократно служили объектом для показа иностранным делегациям ученых, а в 1980 г. на ЛГС “Аибга” была проведена выездная сессия ИЮФРО, материалы которой позже были опубликованы.

Мониторинг лесных экосистем в дубравной зоне Северного Кавказа

В 1972 г. на территории б. Джубгского мехлесхоза для изучения экологических функций насаждений дуба скального (*Quercus petraea*) был заложен лесогидрологический стационар (ЛГС) “Горский” в бассейне реки Джубга (бассейн ручья Черноволова Щель) в 10 км от берега моря (Битюков, 2018). На нем изучалось влияние сплошнолесосечной и двухприемной котловинной рубок (на двух водосборах), а 2 водосбора были оставлены в качестве контрольных. ЛГС “Горский” является репрезентативным по лесорастительным, геологическим, почвенным и климатическим условиям для формации дуба скального. Район стационара приурочен к северо-западной части Главного Кавказского хребта и характеризуется наличием низкогорного, сильно эродированного рельефа при северо-западной экспозиции. Состоит из 4 водосборных бассейнов размерами от 6.0 до 24.9 га, в интервале высот 40–287 м над уровнем моря (рис. 4).

На водосборе № 1 в 1981–1982 гг. проведена сплошнолесосечная рубка на площади 4.04 га



Рис. 3. Метеорологические наблюдения на метеоплощадках в лесу – ЛГС “Аибга”.

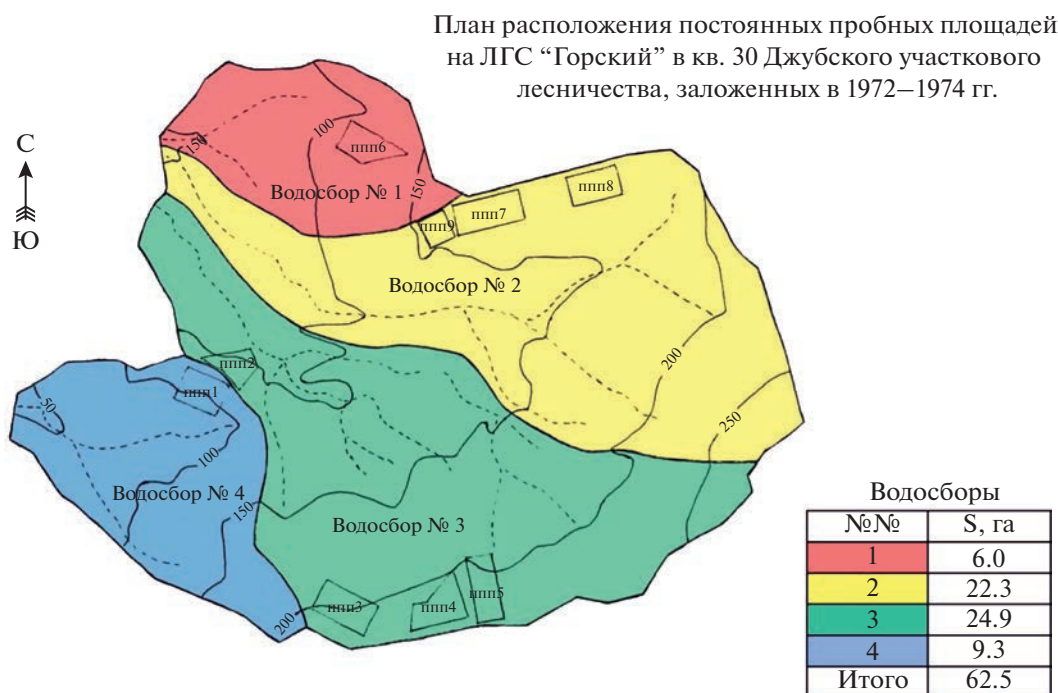


Рис. 4. Схема расположения дубравного стационара “Горский”.

(67.3% площади водосбора). Оставшаяся часть бассейна (1.96 га), вследствие высокой крутизны склонов (более 30°) и расположения по тальвегам ручьев, осталась невырубленной. На части территории водосбора после проведения рубки бульдозером “Т–130” было нарезано 900 погонных метров террас, на которые высадили 3.5 тыс. шт. 2-летних саженцев сосны крымской (*Pinus pallasiana*).

На водосборе № 2 в 1982–1983 гг. был проведен первый прием группово-постепенной котло-

винной двухприемной рубки на площади 3.92 га, а в 1988–89 гг. – второй прием на площади 2.3 га, что в сумме составляет 27.9% площади водосбора. При первом приеме вырублено 7 котловин. На трех котловинах, где наблюдалось недостаточное количество подроста, высажено без подготовки почвы 1.5 тыс. шт. га саженцев каштана размещением 7 × 1 м.

В силу изменившихся климатических условий на водосборах ЛГС “Горский” в последние 10–15 лет



Рис. 5. Наблюдения за микроклиматом на метеоплощадках ЛГС “Горский”.



Рис. 6. Слева — водослив на гидрометрическом посту 3-го ручья ЛГС “Горский”. Справа — повреждения поста после катастрофического паводка в 2001 г.

нередко наблюдались катастрофические паводки, наносящие значительный урон сооружениям ЛГС. Так, во время выпадения на ручьях ЛГС “Горский” в июне 2001 г. смерчевых осадков произошли разрушения гидрометрических сооружений на водосборах № 2 и № 3. После интенсивных осадков, превышающих 225 мм за 2 ч, образовались паводки исключительно редкой повторяемости. Так, на водосборе № 3 расчеты максимального паводка по меткам высоких вод дали величины скорости потока 10.3 и 9.08 м/с, что соответствует расчетному расходу по одному варианту $Q = 28.0 \text{ м}^3/\text{с}$, а по другому варианту — $24.7 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. максимальный паводок на ручьях ЛГС “Горский” 30 июня 2001 г. достигал 25–28 $\text{м}^3/\text{с}$ (рис. 6б).

Учитывая, что гидрометрические сооружения были запроектированы на расчетный расход 10%-ной обеспеченности (не более 1.5–2.0 $\text{м}^3/\text{с}$), становятся ясными причины значительных раз-

рушений, произведенных прошедшим паводком. В результате были снесены установки будок с самописцами, что потребовало срочных ремонтных работ. При площади водосбора $F = 24.9 \text{ га}$ для 3-го ручья максимальный модуль стока 30.06.2001 г. был равен 110 $\text{м}^3/\text{с}$ с 1 км^2 или 1100 л/с с 1 га. Максимальные годовые модули стока в этой части региона ранее наблюдались в пределах 50 л/с с 1 га.

На водосборе с котловинной рубкой увеличение стока в 1.1 раза наблюдалось около 15 лет после рубки. Тренд индексов изменения стока на водосборе № 2 с котловинной рубкой в течение 29 лет после проведения рубки очень медленно приближался к 1. Инфильтрационная часть водного баланса в 3 раза меньше, чем на контрольном водосборе. Поступление влаги в глубокие горизонты почвогрунтов уменьшается до 65 мм в год за счет возрастания быстрого склонового стока (при годовом количестве осадков 1300–1700 мм). При этом здесь характерны большие величины объемов и ко-

эффициентов стока паводков, составляющих в среднем около половины всех выпадающих осадков. В холодный период года основная часть паводков имеет коэффициенты стока, равные 90–98%.

Как на площади сплошнолесосечной рубки с 30-летними молодняками, так и на водосборе с котловинной рубкой индексы изменения склонового стока в некоторые годы снижаются до величин 0.9; в другие годы — увеличиваются до 1.2–1.3; особенно в холодные периоды, когда регулирование выпадающих осадков площадью водосбора минимальное, а коэффициенты зимних паводков приближаются к 0.95.

На ЛГС “Горский” были испытаны несколько вариантов воздействия на лесную среду — как изменение условий естественной среды, так и хозяйственное воздействие. Так, на водосборах стационара в последние 10–15 лет нередко наблюдались катастрофические паводки, наносящие значительный урон сооружениям. Другое стихийное явление — ожеледь, которая в декабре 2001 г. охватила свыше 3000 га и нанесла серьезный ущерб насаждениям Джубгского опытного лесхоза, в том числе и дубравам ЛГС “Горский”. Принципиально важным обстоятельством было то, что стихийным явлением была охвачена территория прибрежной полосы шириной 5–10 км. Для изучения последствий стихии и выработке мер по ее исправлению на ЛГС “Горский” была организована поездка ведущих специалистов лесного хозяйства — как ученых, так и производственных организаций.

Практически ежегодно в дубравной зоне наблюдаются низовые пожары, которые наносят весомый ущерб процессу лесовосстановления на площадях рубок. На ЛГС “Горский” были заложены пробные площади в молодняках и прослежены процессы возобновления. К сожалению, в связи с прекращением исследований на ЛГС в 2012 г. окончательные выводы в данном вопросе не сделаны.

Помимо естественного воздействия на биоту ЛГС “Горский”, были испытаны лесовосстановительные работы в виде закладки лесных культур. Лесные культуры сосны крымской заложили в 1983 г. на террасах, проходящих по горизонталям поперек водосбора № 1 в верхней его половине, в интервале высот 70–120 м над ур. м. Террасы прерывались участками невырубленного леса по тальвегам ручьев и на склонах свыше 30°. В целом лесные культуры показали несостоятельность подобных мероприятий — к 2005 г. (т. е. через 20-летний срок) остатки лесных культур не превышали 10% от исходных. Лесные культуры каштана по-

севного (*Castanea sativa*) в котловинах водосбора № 2 также не дали положительных результатов.

Экспедиционные исследования на Северном Кавказе

Практика исследовательских работ показала, что организация постоянных наблюдений за склоновым стоком на малых водосборах имеет ряд серьезных недостатков, в числе которых основным является сложность строительства водосливов и организации постоянных наблюдений. В связи с этим выбранные для исследований гидрологические объекты обычно немногочисленны и поэтому должны обладать репрезентативностью получаемых результатов. Для изучения генезиса стока в различных условиях может быть применен способ искусственного дождевания склонов. При изучении склонового стока в горных условиях с использованием способа дождевания площадок (размерами не менее 100–300 м²) без устройства боковой изоляции возможно несколько вариантов выбора элементарных водосборов (Битюков, 1994, 2001; Битюков, Ткаченко, 2017).

В период 1967–1980 гг. были организованы экспедиционные исследования гидрологических свойств лесных площадей с использованием методов дождевания больших площадок и инфильтрационных съемок склонов. Такие работы были проведены в начале изучения гидрологической ситуации на Черноморском Побережье Кавказа Сочинской научно-исследовательской станцией лесного и лесопаркового хозяйства (СочНИЛОС) в содружестве с кафедрой гидрологии ОГМИ более полувека назад. В настоящее время этих организаций уже не существует, однако уникальные результаты работ, полученные в этот период исследований природы ЧПК актуальны и в настоящее время (с учетом важности гидрологической оценки территорий при освоении бассейнов основных рек ЧПК). Экспедиции на территории Северо-Западного Кавказа были проведены в бассейнах рек Мзымты, Шахе, Хобзы, Буу, Псекупса, Джубги и других рек региона. Практически все результаты этих исследований своевременно освещались в различных печатных и рукописных изданиях — годовых отчетах, статьях, монографиях и других документах (Битюков и др., 2012; Коваль, Битюков, 1972, 2001).

Помимо основных направлений по оценке экологического воздействия технологии рубок и лесовосстановления, сотрудники НИИгорлес-экол участвовали еще в двух крупных проектах. Первый проект — это разработка технологии вертолетной трелевки леса. Практические работы проводились в Хамышинском лесничестве (это бассейн реки Белой на Северном Кавказе) на

сплошнолесосечных деланках в буково-пихтовых древостоях вертолетами МИ-8 и МИ-10. Позже эти работы были продолжены под руководством проф. И.П. Ковалёва и завершились составлением и утверждением инструкции по вертолетной трелевке древесины.

Другой научный проект в семидесятых и восьмидесятых годах включал сотрудничество в разработке имитационной компьютерной программы “Лес” совместно с кафедрой математики Ростовского Университета (зав. кафедрой проф. А.Б. Горстко, преподаватели и аспиранты М.И. Камышанский, А.В. Угольников, Р.Д. Медальев и др.). Целью программы были оценка и прогноз воздействия различных сценариев способов рубок и технологии лесоразработок на лесную среду и выбор оптимального варианта ведения лесного хозяйства. При разработке имитационной программы “Лес”, руководимой проф. И.П. Ковалёвым, были использованы результаты исследований на лесогидрологических стационарах. Итогом работы стали как сама компьютерная программа, так и инструкция по её применению (Коваль и др., 1990). К сожалению, нужно отметить, что в связи с интенсивным развитием компьютерной техники и программирования, указанные разработки безнадежно устарели, да и практический спрос на исследования данного направления резко сократился как из-за падения компетентности работников отрасли, так и из-за отсутствия техники на лесоразработках.

ВЫВОДЫ

По результатам обобщения опыта проведения лесного хозяйства в горных лесах страны можно предложить научно обоснованные принципы ведения хозяйства в горных лесах (Коваль и др., 2012).

1. Горные системы России (Северный Кавказ, Урал, Алтай, Саяны и др.) обладают богатейшими и разнообразными ресурсами — биологическими, минеральными, водными, рекреационными и др. и весьма восприимчивы к антропогенному воздействию. Среди всех типов растительности горные леса — это основной компонент природных комплексов, определяющих поддержание стабильности и экологического равновесия в ландшафтах. Они и представлены исключительным разнообразием — от полярных горных ландшафтов Новой Земли до фрагментов горных средиземноморских субтропиков Западного Кавказа. Как тип растительного покрова горных территорий, горные леса имеют чрезвычайно важное ресурсное и средоформирующее значение. В них сосредоточены наиболее ценные древесные породы, использова-

ние лесосырьевых ресурсов которых требует специальных экологических технологий.

2. Без учета экологических аспектов структуры и динамики лесов России, а также анализа природных и антропогенных процессов, происходящих на территории лесов, нельзя составить полную сумму знаний об ожидаемых глобальных изменениях природной среды в связи с все убыстряющимся ходом развития цивилизации. Еще острее встает вопрос качества информации о лесах в силу ее неполноты и недостаточной точности.

3. Неизбежность перевода процесса лесопользования (и, соответственно, лесопромышленного проектирования) на природную основу (по бассейнам или водосборам рек) составляет суть современного и обязательного аспекта проблемы. Дополненная ГИС-картографией (включая почвенные карты и карты различных способов районирования территорий) и инструментами визуализации данных, эта система должна представлять основы национальной системы слежения за состоянием лесов и ведением лесного хозяйства в них (Bityukov et al., 2012).

4. Реализация концепции устойчивого управления лесами России требует улучшения существующих и создания новых типов механизмов принятия решений и планирования лесопользования в целях обеспечения долгосрочного устойчивого пользования рыночной и нерыночной продукцией леса без ущерба для лесных экосистем.

5. Проведенные исследования в этой области позволили разработать систему организации и ведения хозяйства в горных лесах на ландшафтно-экологической основе, по водосборным бассейнам рек. При этом использованы сбор и обобщение лесопромышленной информации о структуре лесного фонда в связи с лесопользованием, выбор репрезентативных объектов, проверка принципов и нормативов организации лесопользования на водосборах. В результате разработаны концепция и основные положения организации и ведения лесного хозяйства по водосборным бассейнам горных рек.

6. Наибольшее негативное воздействие на состояние горных лесов и их средоохранительные функции оказывают рубки, связанные с заготовкой древесины, а также интенсивная рекреация. Из всех применяющихся технологических схем освоения лесосырьевых ресурсов с различными способами рубок и применяемыми механизмами, наименьшие нарушения экологических функций леса отмечены при использовании канатной и вертолетной техники. Наиболее средоразрушаю-

щими являются технологии лесосечно-транспортных операций на базе тракторов.

7. Принципы экологического лесопользования основываются на 2-х теоретических положениях: 1) степень выполнения лесами экологических функций определяется количеством сконцентрированной в них биомассы, что связано с возрастом насаждений и качеством лесорастительных условий; 2) индикатором качества лесорастительных условий является сам древостой; в пределах лесной формации экологическая составляющая определяется классом бонитета.

8. Принципиальная схема организации и ведения многоцелевого неистощительного лесопользования по водосборам рассматривается как система компромисса взаимосвязанных элементов экологических, лесосырьевых, экономических и ресурсно-восстановительных составляющих. Система критериев и оценок структуры лесного фонда, продукционного и экологического потенциала водосборных бассейнов включает качество лесорастительных условий, формационную и возрастную структуру насаждений, их продуктивность и оценивается по материалам инвентаризации лесного фонда.

9. Концепция экологического, неистощительного, многоцелевого лесопользования исходит из посылки уравновешенного с возможностями леса использования всех видов сырьевых ресурсов. Для решения этой задачи необходимо выполнение следующих условий:

- хозяйственное воздействие на лесные экосистемы не должно приводить к утрате ими способности к самовосстановлению и снижению продукционного потенциала и биологического разнообразия;

- вмешательство в жизнь леса должно сопровождаться прогнозами лесоводственно-экологических последствий принимаемых решений;

- применяемые технические средства, способы и технологии извлечения ресурсов не должны приводить к невозполнимому снижению качества окружающей среды.

10. По результатам многолетнего мониторинга в горных буковых и дубовых лесах Северо-Западного Кавказа можно сделать вывод о том, что проведение рубок главного пользования приводит к существенному изменению элементов водного баланса малых водосборов и нарушению водорегулирующих функций насаждений, особенно при применении сплошнолесосечных рубок с тракторной трелевкой древесины. Установлено, что в связи с рубками изменяются все параметры среды — как общая биомасса древостоя, его листовая поверхность и масса, являющиеся основ-

ным инструментом накопления древесной массы, так и взаимная связь почвообразовательных и лесовосстановительных процессов с насаждениями. Прослеживаются особенности динамики водоохраных, водорегулирующих и почвозащитных функций лесной растительности.

11. Восстановление основных факторов среды происходит медленно, при этом наилучшие показатели имеют площади сплошнолесосечных и добровольно-выборочных рубок. Группово-постепенные котловинные рубки имеют в среднем в 2–3 раза худшие показатели восстановления.

12. В результате 35–50-летних наблюдений за параметрами лесной среды можно сделать вывод, что, вторгшись в лесную среду (как с изъятием древесной массы, так и в ходе интенсивной рекреации), человек навсегда теряет материнские экосистемы. Взамен возникают новые растительные сообщества, как правило, с худшими свойствами. Наши данные о перспективах лесовосстановления путем посадки на месте срубленного леса говорят о том, что постулат о неистощительном лесопользовании в принципе не подтверждается. Так, состояние старовозрастных лесных культур через 10–15 лет оказывается неудовлетворительным. Они замещаются естественными насаждениями в процессе сукцессивного развития лесовосстановления, обусловленного в основном климатическими и почвенными условиями. Так, результаты создания лесных культур путем высадки сосны крымской и каштана посевного на водосборах № 1 со сплошнолесосечной рубкой и на водосборе № 2 с котловинной рубкой ЛГС “Горский” показали распад насаждений в 15–20-летнем возрасте.

13. Такие же отрицательные результаты зафиксированы на площадях старовозрастных лесных культур ореха грецкого (*Juglans regia* L.) на пойме и в бассейне реки Мзымты. Процесс деградации лесных культур отмечен также многими авторами и в условиях лесостепной зоны страны, где обратная сукцессия протекает более медленными временными рамками (см. публикации в журнале “Лесоведение”).

14. В отношении состояния речных вод любые вторжения в бассейны горных рек приводят к необратимым изменениям в режиме рек, и прежде всего, — в возникновении катастрофических паводков и резком ухудшении качества пресных вод (Битюков и др., 2019).

15. Необходимо учитывать современные климатические изменения, которые могут оказывать социально-экономическое влияние. Можно выделить влияние климатического и антропогенного факторов на частоту опасных гидрологических

явлений. Так, если раньше под воздействием климатического фактора осадки интенсивностью 100 мм за 12 ч выпадали 1 раз в 3–5 лет, то последние 5 лет – ежегодно, а в 2011–2018 гг. – 2–4 раза в год.

16. Антропогенный фактор оказывает влияние из-за застройки пойм, низменных мест, которая приводит к затоплению жилых построек уже при небольших подъемах уровня рек. Высокая засоренность русел рек, особенно малых, значительно снижает их пропускную способность, содействуя более быстрому выходу воды на пойму. Среднегодовое количество возникновения опасных гидрологических явлений процессов для рек Черноморского побережья Кавказа составляет 1 случай в 2–3 года (Битюков, Ткаченко, 2017).

17. Следует отметить, что в последние годы наблюдается нарушение и закрытие достигнутых и накопленных в лесоводственной отрасли научных результатов и перспективных разработок. Без заботы об экологии горных лесных экосистем были закрыты институт НИИгорлесэкол, Майкопская ЛОС, Кисловодская и Геленджикская лаборатории, Лооский опытный лесхоз, не говоря уж о лесогидрологических стационарах на серном и южном макросклонах Северного Кавказа (Беленко, 1978; Битюков, Шагаров, 2013, 2020).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беленко Г.Т. Материалы об изменении ручьевого стока в пихтарниках Северо-Западного Кавказа в связи с главными рубками леса // Природа и рациональное использование горных лесов Северного Кавказа. Труды ВНИИЛМ. 1978. Вып. 13. С. 70–76.
- Битюков Н.А. Водный баланс водосборов в связи с рубками в буковых лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 1988. № 3. С. 56–65.
- Битюков Н.А. Гидрологическая роль леса на горных водосборах // Экологические основы ведения лесного хозяйства в горных лесах. М.: Сб. науч. тр. НИИгорлесэкол, 1994. С. 12–19.
- Битюков Н.А. Гидрологическая роль горных лесов Северо-Западного Кавказа: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 0603 // Лесоведение. 1996. № 4. С. 39–50.
- Битюков Н.А. Особенности воднобалансовых исследований горных лесных экосистем // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Материалы совещания. Тула: Гриф и К, 2001. 580 с. ISBN 5-8125-0131-0
- Битюков Н.А. Экология горных лесов Причерноморья. Сочи: ФГБУ НИИгорлесэкол, 2007. 397 с.
- Битюков Н.А. Мониторинг экосистем буковых лесов Сочинского Причерноморья. Вып. 5. Сочи: Сочинский национальный парк, 2013. 391 с. ISBN 978589-204-228-4
- Битюков Н.А. Итоги длительного мониторинга экосистем буковых насаждений Черноморского побережья Кавказа // Лесоведение. 2015. № 3. С. 202–207.
- Битюков Н.А. Стационарные исследования экологии дубовых лесов Северо-Западного Кавказа. Вып. 10. Сочи: Сочинский национальный парк, 2018. 345 с. ISBN 978-5-91789-258-0
- Битюков Н.А. Речной сток на территории Сочинского Причерноморья // River Flow in Black Sea Area around Sochi // Вестник Краснодарского регионального отд. Русского географического общества. Вып. 8. Краснодар: Платонов, 2018. С. 8–14.
- Битюков Н.А. Гидрологический режим Сочинского Причерноморья // Сочинскому национальному парку – 35 лет // Тр. Сочинского нац. парка. Вып. 12. Сочи: Оптима, 2018. С. 83–95. ISBN 978-5-91789-264-1
- Битюков Н.А., Ткаченко Ю.Ю. Гидрологический очерк Черноморского побережья Кавказа: монография. Вып. 9. Сочи: ФГБУ “Сочинский национальный парк”, 2017. 460 с. ISBN 978-5-91789-254-2
- Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Мониторинг атмосферных осадков в буковых лесах Черноморского побережья Кавказа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2013. № 1(173). С. 67–71.
- Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Влияние рубок главного пользования на склоновый сток в дубравах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2016. № 5. С. 365–374.
- Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Влияние рубок главного пользования на водный баланс малых водосборов в буковых лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2020. № 4. 2020. С. 1–13.
- Битюков Н.А., Пестерева Н.М., Ткаченко Ю.Ю., Шагаров Л.М. Рекреация и мониторинг экосистем особо охраняемых природных территорий Северного Кавказа: Монография. Сочи: СГУ, 2012. 456 с.
- Битюков Н.А., Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И. Максимальный и минимальный сток на реках Сочинского Причерноморья // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 4. 2019. С. 26–34.
- Коваль И.П. Стационар “Аибга” Сочинской научно-исследовательской опытной станции субтропического лесного и лесопаркового хозяйства. М.: ВНИИЛМ, 1970. С. 3–15.
- Коваль И.П., Битюков Н.А. Количественная оценка водорегулирующей роли горных лесов Черноморского побережья Кавказа // Лесоведение. 1972. № 1. С. 3–11.
- Коваль И.П., Битюков Н.А. Экологические функции горных лесов Северного Кавказа. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 480 с.
- Коваль И.П., Битюков Н.А. Экологические основы пользования лесом на горных водосборах (на примере Северного Кавказа). Краснодар, 2001. 408 с.
- Коваль И.П., Битюков Н.А., Солнцев Г.К., Горстко А.Б., Медалье Р.Д., Угольницкий А.В. Имитационное моделирование многофункционального использования горных лесов // Лесоведение. 1990. № 1. С. 25–32.
- Коваль И.П., Битюков Н.А., Шевцов Б.П. Экологические основы горного лесоводства: Монография. Сочи:

ФГБУ “НИИгорлесэкол”, 2012. 565 с. ISBN: 978-5-91789-104-0с.

Лесные стационарные исследования: методы результаты, перспективы. Материалы совещания. Москва 18–20 сентября 2001 г. Тула: Гриф и К, 2001 г. 591 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. I. М.—Л.: Гидрометеиздат, 1975. 315 с.

Щербина В.Г., Битюков Н.А., Гордиенко В.П. Экологический мониторинг. Украина, Кривой Рог: Наука, 2008. 363 с. ISBN: 966-8224-00-0420 с.

Bitukov N.A., Pestereva N.M., Shagarov L.M. GIS-based environmental monitoring of montane forest ecosystems in protected areas // *European Researcher*. V. 8-2(27). 2012. P. 1293–1298.

Geoecological Research and Management Principles in the Northern Caucasus' Mountain Forests

N. A. Bitukov*

Sochi National Park, Moskovskaya st., 21, Sochi, Krasnodar Krai, 354000 Russia

**E-mail: nikbit@mail.ru*

The article provides an analysis of historical data on the organisation and state of geoecological research in the mountain forests of the North Caucasus and Russia. On the example of regional monitoring of mountain forest ecosystems, the organisation of the multi-purpose nature management within mountain watersheds is demonstrated. Based on the results of the experimental materials obtained from a long-term monitoring at complex forest-hydrological stations, as well as the results of active experiments, recommendations are given for forest management in the mountains. An example of obtaining information by field methods is shown, as well as computer modelling of forestry development in mountainous regions. The scientific principles and ecological bases of farming in the mountainous regions forests are proposed.

Keywords: North-Western Caucasus, Sochi National Park, forest-hydrological stations, river network, river basins, water-protective functions of forests, cutting methods, forest resources development principles.

REFERENCES

Belenko G.T., Materialy ob izmenenii ruch'evogo stoka v pikhtarnikakh Severo-Zapadnogo Kavkaza v svyazi s glavnymi rubkami lesa (Materials on the change in stream flow in the fir forests of the North-Western Caucasus in connection with the main logging), *Priroda i ratsional'noe ispol'zovanie gornyykh lesov Severnogo Kavkaza. Trudy VNIILM*, 1978, Vol. 13, pp. 70–76.

Bitukov N.A., *Ekologiya gornyykh lesov Prichernomor'ya* (Ecology of montane forest in Black Sea coastal area), Sochi: Izd-vo SIMBiP, NIIGorlesekol, 2007, 292 p.

Bitukov N.A., *Gidrologicheskaya rol' gornyykh lesov Severo-Zapadnogo Kavkaza. Avtoref. diss. dokt. biol. nauk* (Hydrological role of mountain forests of the Northwest Caucasus. Extended abstract Doctor's biol. sci. thesis), Moscow: In-lesovedeniya RAN, 1996, 53 p.

Bitukov N.A., *Gidrologicheskaya rol' lesa na gornyykh vodosborakh* (Hydrological role of forests in mountain watersheds), In: *Ekologicheskie osnovy vedeniya lesnogo khozyaistva v gornyykh lesakh* (Ecological bases of forest management in mountain forests), Moscow, Book of abstracts of Research institute of mountain forestry and forest ecology, 1994, pp. 12–19.

Bitukov N.A., *Gidrologicheskii rezhim Sochinskogo Prichernomor'ya* (Hydrological regime of the Sochi Black Sea region), *Tr. Sochinskogo nats. parka*, 2018, Vol. 12, pp. 83–95.

Bitukov N.A., Itogi dlitel'nogo monitoringa ekosistem bukovyykh nasazhdenii Chernomorskogo poberezh'ya Kavka-

za (The results of long-term monitoring of beech stands of the Black Sea Coast of Caucasus), *Lesovedenie*, 2015, No. 3, pp. 202–207.

Bitukov N.A., *Monitoring ekosistem bukovyykh lesov Sochinskogo Prichernomor'ya* (Monitoring of ecosystems of beech forests of the Sochi Black Sea region), Sochi: Sochinskii natsional'nyi park, 2013, Vol. 5, 391 p.

Bitukov N.A., *Osobennosti vodnobilansovykh issledovaniy gornyykh lesnykh ekosistem* (Features of water balance studies of mountain forest ecosystems), *Lesnye statsionarnye issledovaniya: metody, rezul'taty, perspektivy* (Forest Stationary Research: Methods, Results, Prospects), Tula, Meeting Proc., Tula: Grif i Ko, 2001, pp. 580.

Bitukov N.A., Pestereva N.M., Shagarov L.M., GIS-based environmental monitoring of montane forest ecosystems in protected areas, *European Researcher*, Vol. 8-2(27), 2012, pp. 1293–1298.

Bitukov N.A., Pestereva N.M., Tkachenko Y.Y., Shagarov L.M., *Rekreatsiya i monitoring ekosistem osobo okhranyаемых prirodnnykh territorii Severnogo Kavkaza* (Recreation and ecosystem monitoring in natural protected areas of Northern Caucasus), Sochi: Izd-vo SGU, 2012, 456 p.

Bitukov N.A., *Rechnoi stok na territorii Sochinskogo Prichernomor'ya* (River Flow in Black Sea Area around Sochi), *Vestnik Krasnodarskogo regional'nogo otd. Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2018, Vol. 8, pp. 8–14.

Bitukov N.A., Shagarov L.M., *Monitoring atmosferykh osadkov v bukovyykh lesakh Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* (Monitoring of atmospheric precipitations in Black Sea coastal beech forests), *Izvestiya vysshikh ucheb-*

nykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki, 2013, No. 1(173), pp. 67–71.

Bitukov N.A., Shagorov L.M., Vliyanie rubok glavnogo pol'zovaniya na sklonovyi stok v dubravakh Severo-Zapadnogo Kavkaza (Principal fellings effect on surface runoff in oak forests of North-Western Caucasus), *Lesovedenie*, 2016, No. 5, pp. 365–374.

Bitukov N.A., Shagorov L.M., Vliyanie rubok glavnogo pol'zovaniya na vodnyi balans malykh vodosborov v bukovykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza (Final Cuttings Impact on the Water Balance in Beech Forests of the Small Hydrological Basins of North-Western Caucasus), *Lesovedenie*, 2020, No. 4, pp. 314–326.

Bitukov N.A., *Statsionarnye issledovaniya ekologii dubovykh lesov Severo-Zapadnogo Kavkaza* (Stationary studies of the ecology of oak forests in the Northwestern Caucasus), Sochi: Sochinskii natsional'nyi park, 2018, Vol. 10, 345 p.

Bitukov N.A., Tkachenko Y.Y., Denisov V.I., Maksimal'nyi i minimal'nyi stok na rekakh Sochinskogo Prichernomor'ya (Maximal and minimal river flow of the Sochi Black Sea coast), *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2019, No. 4, pp. 26–34.

Bitukov N.A., Tkachenko Y.Y., *Gidrologicheskii ocherk Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* (Hydrological essay of the Black Sea coast of the Caucasus), Sochi: FGBU "Sochinskii natsional'nyi park", 2017, Vol. 9, 460 p.

Bitukov N.A., Vodnyi balans vodosborov v svyazi s rubkami v bukovykh lesakh Severnogo Kavkaza (Water balance of catchments under cuttings of beech woodlands in the North Caucasus), *Lesovedenie*, 1988, No. 3, pp. 56–65.

Koval' I.P., Bitukov N.A., *Ekologicheskie funktsii gornykh lesov Severnogo Kavkaza* (Ecological functions of the mountain forests of the North Caucasus), Moscow: VNIITSlesresurs, 2000, 480 p.

Koval' I.P., Bitukov N.A., *Ekologicheskie osnovy pol'zovaniya lesom na gornykh vodosborakh (na primere Severnogo Kavkaza)* (Environmental basis of forest exploitation in montane catchments (case of Northern Caucasus)), Krasnodar: Kubanskii uchebnik, 2001, 406 p.

Koval' I.P., Bitukov N.A., Kolichestvennaya otsenka vodoreguliruyushchei roli gornykh lesov Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza (Quantitative assessment of montane woodlands contribution to water regulation in Caucasian Riviera), *Lesovedenie*, 1972, No. 1, pp. 3–11.

Koval' I.P., Bitukov N.A., Shevtsov B.P., *Ekologicheskie osnovy gornogo lesovodstva* (Ecological fundamentals of montane silviculture), Sochi: Izd-vo NIIGorleskol, 2012, 565 p.

Koval' I.P., Bitukov N.A., Solntsev G.K., Gorstko A.B., Medal'e R.D., Ugol'nitskii A.V., Imitatsionnoe modelirovanie mnogofunktsional'nogo ispol'zovaniya gornykh lesov (Simulation modeling of multifunctional use of mountain forests), *Lesovedenie*, 1990, No. 1, pp. 25–32.

Koval' I.P., *Statsionar "Aibga" Sochinskoi nauchno-issledovatel'skoi opytnoi stantsii subtropicheskogo lesnogo i lesoparkovogo khozyaistva* ("Aibga" Research Center of the Sochi Scientific Research Experimental Station of Subtropical Forest and Forest Park Management), Moscow: Vsesoyuznyi NII lesovodstva i mekhanizatsii, 1970, p. 3–15.

Lesnye statsionarnye issledovaniya: metody rezul'taty, perspektivy (Forest stationary researches: methods, results, prospects), Proc. of Meeting, Moscow, 18–20 September, 2001, Tula: Grif i Ko, 2001, 591 p.

Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam, (Manual for hydrometeorological stations and posts), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975, Vol. 6, Part I, II, 315 p.

Shcherbina V.G., Bitukov N.A., Gordienko V.P., *Ekologicheskii monitoring* (Environmental monitoring), Ukraine, Kryvyi Rih: Nauka, 2008, 363 p.