

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВАЛА НА СТРУКТУРУ И ФИТОМАССУ ДРЕВОСТОЕВ КЕДРОВНИКОВ И БЕРЕЗНЯКОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ¹

© 2022 г. А. В. Иванов^{a, b, *}, М. А. Сало^c, С. Н. Бондарчук^c, Д. Г. Замолотчиков^b,
А. В. Могилева^c, Н. А. Кочкарина^{a, d}

^aИнститут геологии и природопользования ДВО РАН, Релочный пер., д. 1, Благовещенск, 675000 Россия

^bЦентр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Профсоюзная ул., д. 84/32, Москва, 117234 Россия

^cСихотэ-Алинский государственный природный биосферный заповедник им. К.Г. Абрамова, п. Терней, 692150 Россия

^dПриморская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Блюхера, д. 44, Уссурийск, 692510 Россия

*E-mail: aleksandr86@mail.ru

Поступила в редакцию 20.08.2021 г.

После доработки 27.09.2021 г.

Принята к публикации 01.12.2021 г.

Проведена оценка воздействия ветровала на структуру и фитомассу древостоев кедровников и березняков по материалам обследований постоянных пробных площадей (ППП) на территории Сихотэ-Алинского заповедника, на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня, где вследствие тайфуна Lionrock произошло частичное выпадение древостоя. Ветровал 2016 г. — беспрецедентное в истории заповедника катастрофическое явление. Более 9% лесного покрова особо охраняемой природной территории перешло в сплошные ветровалы. Исходными материалами для анализа послужили ревизии пробных площадей, выполненные до и после ветровала. Межревизионный период у разных объектов составляет 8–18 лет. Запас надземной фитомассы определен по таксационным данным с использованием региональных аллометрических уравнений. Средний запас кедровников вследствие ветровала уменьшился с 552 до 298 м³ га⁻¹, а березняков с 253 до 163 м³ га⁻¹. Общий прирост для кедровников и березняков составил 6.2 и 5.5 м³ га⁻¹ год⁻¹ соответственно, а отпад 13.6 и 9.8 м³ га⁻¹ год⁻¹ соответственно. Средние значения запаса фитомассы кедровых насаждений — 291 т га⁻¹, березовых насаждений — 210 т га⁻¹. Запасы фитомассы березняков уменьшились в результате ветровала на 35%, а кедровников — на 44%. Запас углерода 150 т С га⁻¹ можно считать максимальной углеродной емкостью фитомассы для кедровников среднего и верхнего высотного пояса, относительно которой следует вычислять депонирующий потенциал нарушенных лесов этой формации. Из хвойных пород менее устойчивы к ветровалу ель, пихта и кедр. Для осины и березы плосколистной действие тайфуна усиливает их естественное выпадение из состава древостоя. Наиболее устойчивыми породами оказались клены, липа амурская и лиственница.

Ключевые слова: запас древесины, прирост, продуктивность, тайфун Lionrock, фитомасса.

DOI: 10.31857/S0024114822020061

Лесные экосистемы, являясь ключевым звеном в биогенных циклах вещества и энергии, служат важным экономическим и социальным ресурсом. Управление лесами преследует цели непрерывного, неистощительного, многоцелевого лесопользования и традиционно базируется на достижениях лесоведения. Новым вызовом системе лесопользования являются учащающиеся на фоне климатических изменений масштабные деструктивные явления, ведущие к деградации лес-

ного покрова: пожары, ветровалы и прочие климатогенные нарушения, вспышки и инвазии вредителей (Eriksson et al., 2005; Norden et al., 2015; Anyomi et al., 2017; Chirici et al., 2017; и др.). Согласно прогнозам, опасные погодные явления в России будут учащаться (Доклад ..., 2020). Рано или поздно будет необходима разработка лесохозяйственных мероприятий, направленных на формирование более устойчивых лесов — территорий особого климатического риска, к которым можно отнести восточный склон Сихотэ-Алиня. Лесоводственные исследования последствий масштабных ветровалов в настоящее время немногочисленны, а на Дальнем Востоке России единичны (Громыко, 2017; Vozmishcheva et al., 2019). Таким

¹ Работа при финансовой поддержке гранта РНФ 19–77–30015 (обобщение и анализ данных) и госзадания АААА–А18–118052400130–7 Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (полевые исследования).

образом, особую важность приобретает задача корректной оценки последствий этих нарушений и обоснования возможных мер адаптивного характера (Kramer et al., 2001).

Важной экосистемной характеристикой лесов является фитомасса. Фитомасса наряду с первичной продукцией (*NPP*) характеризует биологическую продуктивность экосистемы (Усольцев, 2007), которая изменяется под действием множества факторов как природного, так и антропогенного характера. Этот показатель используется при оценке многих экологических процессов — фотосинтеза, транспирации, биологического разнообразия (Eisfelder et al., 2017).

В лесах мира аккумулируется около 1200 Гт С, что составляет 60–80% запасов углерода суши (Perruchoud, Fischlin 1995; Bradford et al., 2012). Примерно половина этого запаса приходится на фитомассу. Запас углерода в лесах России, рассчитанный по материалам государственного учета лесного фонда в системе региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ), составил 123.77 ± 18.93 Гт С, из которых в фитомассе запасено 32.03 ± 2.54 Гт С или 26% (Замолодчиков и др., 2018). Аналогичный расчет был выполнен для лесов Приморского края: 2.26 ± 0.36 Гт С — общий запас, 0.71 ± 0.07 Гт С — запас фитомассы (Замолодчиков и др., 2018).

Увеличение силы и частоты нарушений приводит к уменьшению резервуаров углерода лесных экосистем, в частности запасов фитомассы. Каждый тип естественного леса характеризуется максимально возможным запасом углерода, который, как правило, достигается при длительном отсутствии нарушений (Keith et al., 2009). Однако под действием изменения климата и антропогенных преобразований углеродная емкость может изменяться. Разница между фактическим запасом углерода какого-либо насаждения из формации и максимальным зафиксированным запасом на единице площади характеризует депонирующий потенциал лесов, который необходимо учитывать при прогнозировании углеродного бюджета. Коренные леса предоставляют возможность оценки максимальных возможных резервуаров углерода для различных лесных формаций. Однако такие нарушения, как ветровалы и пожары, могут разрушать лесные насаждения и в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Масштабные ветровалы приводят к следующим изменениям: уменьшению биологического разнообразия, увеличению пожарной опасности, изменению режима температуры и влажности.

Для изучения влияния нарушающих воздействий и изменяющихся условий среды на лесные насаждения применяется два альтернативных подхода (Сукачев, Зонн, 1961): 1) метод хронологических последовательностей, когда для кон-

кретного типа лесного насаждения подбирается ряд участков, находящихся на разных стадиях лесовосстановительной смены; 2) многолетний мониторинг лесных растительных сообществ на постоянных пробных площадях (ППП), когда с шагом в несколько лет повторяется описание одного участка леса.

На территории ФГБУ “Сихотэ-Алинский государственный заповедник” сеть постоянных пробных площадей используется для многолетнего мониторинга динамики лесных растительных сообществ (Галанин и др., 2000). В августе 2016 г. после супертайфуна Lionrock около 9% территории заповедника (33.9 тыс. га) было трансформировано в сплошные ветровалы (Громыко, 2017). Некоторые пробные площади заповедника были затронуты тайфуном, часть фитомассы древостоя перешла в пул мертвой древесины в форме валежа. Таким образом, имеющиеся материалы последовательных инвентаризаций постоянных пробных площадей дают возможность оценить запасы фитомассы древостоев до и после тайфуна.

Цель работы — описать изменения в структуре лесных насаждений, вызванные ветровалом, оценить снижение запасов надземной фитомассы лесов в кедровых и березовых лесах центрального Сихотэ-Алиня.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объект исследования. ФГБУ “Сихотэ-Алинский государственный заповедник” расположен в северной части Приморского края в средней части горной системы Сихотэ-Алинь (рис. 1). Площадь заповедника составляет 402600 га, из которых 96.14% покрыто лесом. Климат заповедника носит муссонный характер и довольно разнообразен в его отдельных частях по причине сложности рельефа и других физико-географических особенностей. Больше всего различия проявляются на восточном и западном макросклонах Сихотэ-Алиня. Восточный склон находится под постоянным влиянием Японского моря и Тихого океана, поэтому здесь характерны повышенная влажность и сглаженность большинства метеорологических явлений. По данным метеостанции “Терней”, среднегодовая температура воздуха за последние 10 лет составила 4.1°C . Отмечается явный тренд потепления: за период 1941–2017 гг. увеличение средней температуры воздуха составило 0.027°C год⁻¹ (рис. 2). Среднегодовое количество осадков за указанный период составляет 825.5 ± 21.9 мм. Осадки выпадают крайне неравномерно, что приводит к появлению периодов засух и наводнений. Так, например, согласно летописи природы заповедника, в 2016 г. только за август, накануне тайфуна Lionrock, выпало 238 мм осадков. Большая часть территории заповедника имеет высоты над уровнем моря 600–800 м, от-



Рис. 1. Сихотэ-Алинский заповедник на карте Дальнего Востока.

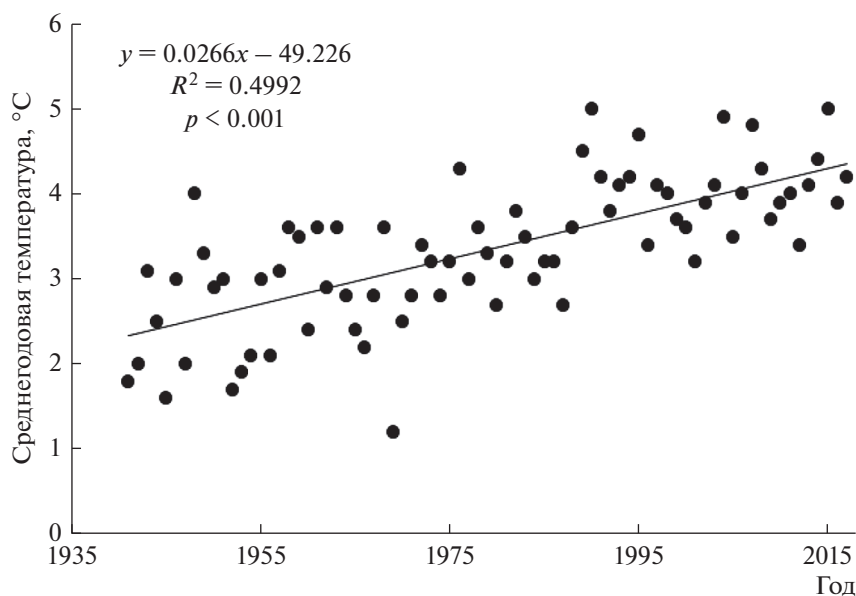


Рис. 2. Среднегодовые температуры воздуха по метеостанции "Терней".

дельные хребты — до 1600 м. Почвы на склонах и террасах относятся к группе буроземов (Cambisols). Наиболее распространенным типом растительности являются леса кедрово-широколиственной формации с доминированием кедра (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc).

Работа выполнена на 4-х постоянных пробных площадях (ППП). Основные таксационные пока-

затели насаждений до и после ветровала представлены в табл. 1. Ниже приводятся дополнительные сведения из материалов летописей природы САБЗ.

ПП 4, 1958 г. Координаты: N45.13681, E136.31553. Расположена на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня, в бассейне р. Серебрянки, на первой пологой надпойменной террасе ручья Зи-

Таблица 1. Таксационные показатели древостоев постоянных пробных площадей до и после ветровала 2016 г.

Показатель	ПП 8		ПП 4		ПП 5		ПП 16	
	2009	2017	2004	2019	2001	2019	2006	2018
Год ревизии								
Состав	4Б62Д1К1Л1Лп1П + + Ос, Е, Бж, Клм	3Д2Б62Л1К1Лп1П + + Бж, Клм, Е	5Б62Ос2П1Лц + + Д, Лп, Е, Ивк, Олх, Бж	5Б61Ос2П1Л1Д + + Лп, Е, Олх	8К1Бж1П + Лп, Е, Клм, Клж, Клз, Ос, Д, В	8К1Бж1П + + Лп, Д, Клм, Клж, Е, В	5К4Л1П + + Д, Лп, Е	5К4Л1П + + Д, Клж, Лп, Е, В
D_{cp} , см	23.9	20.2	19.9	23.3	46.1	44.2	32.2	34.2
M , м ³ га ⁻¹	251.9	159.3	254.3	167.3	569.9	93.7	533.8	502.1
M_M , м ³ га ⁻¹	33.0	128.8	15.0	179.7	57.1	602.1	65.6	98.5
G , м ² га ⁻¹	31.7	20.4	32.2	19.9	48.4	8.9	48.7	46.6
P	1.3	0.8	1.4	0.9	0.9	0.2	1.2	1.1
N , шт. га ⁻¹	1390	894	1932	776	935.4	292	900	1000

Обозначения: D_{cp} – средний диаметр главной породы, M – запас древостоя, M_M – запас крупных древесных остатков (валеж, сухостой), G – абсолютная полнота (сумма площадей сечений стволов на высоте 1.3 м), P – относительная полнота, N – густота древостоя; обозначения пород см. в табл. 2; породы деревьев: Бб – береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew.), Д – дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), К – кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), Л – лиственница даурская (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), Лп – липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), П – пихта белокорая (*Abies nephrolepis* Maxim.), Ос – осина (*Populus tremula* L.), Клм – клен моно (мелколистный) (*Acer mono* Maxim.), Е – ель аянская (*Picea ajanensis* Fisch. ex. Carr.), Бж – береза желтая (*Betula costata* Trautv.), Ивк – ива козья (*Salix caprea* L.), Олх – ольха волосистая (*Alnus hirsuta* (Spath) Rupr.), В – черемуха (вишня) Максимовича (*Cerasus maximowiczii* (Rupr.) Kom.), Бх – бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), Клж – клен желтый (*Acer ukurundense* Trautv. & C.A. Mey.), Клз – клен зеленокорый (*Acer tegmentosum* (Maxim.) Maxim.).

мовейного. Из лесоустроительного отчета 1913 г. установлено, что в урочище Зимовейный на месте пробной площади произрастали кедровые леса с елью и березой желтой и покровом из папоротников. Опустошительные поавальные пожары по свидетельству Б.П. Колесникова (1938) уничтожили коренную растительность в бассейне р. Серебрянки в период 1917–1924 гг. В дальнейшем были повторные пожары. К моменту закладки постоянной пробной площади в 1958 г. гарь обильно заросла березой и осиной. За ревизионный период доля березы плосколистной увеличилась до 7 единиц состава насаждения. Размер 40×62.5 м (0.25 га).

ПП 5, 1975 г. Координаты: N45.49938, E136.53353. Расположена на восточном макросклоне, бассейн среднего течения р. Таежной, вершина пологого водораздела (высота 510 м над ур. м). Почва каменистая с небольшим количеством скелета, на поверхности иногда встречаются камни. Древостой перестойный, сложный по строению. Доминирует кедр корейский с небольшой примесью березы ребристой (желтой). Размер 130×50 м (0.65 га).

ПП 8, 1967 г. Координаты: N45.23436, E136.50941. Расположена на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня, в долине р. Заболоченной, на второй надпойменной террасе. В растительном сообществе происходит восстановительная смена после лесного пожара. В составе древесного полога преобладает береза плосколистная с примесью дуба и лиственницы. Возобновление кедром очень обильное — 3.5 тыс. шт. га⁻¹, преимущественно группового характера. Смену данного типа можно считать коротковосстановительной, так как выход кедра в господствующий полог возможен уже при жизни первого поколения. Размер площади — 50×100 м (0.5 га).

ПП 16, 1967 г. Координаты: N45.31885, E136.47709. Расположена на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня, в среднем течении р. Заболоченной, на высокой надпойменной террасе. Крутизна склона 8°. Высота над уровнем моря 290 м. Насаждение — перестойный кедрово-лиственничный высокополнотный лес III класса бонитета, возникший после пожара в 19 в., в почвенном профиле встречаются прослойки угля. Размер 50×100 м (0.5 га).

Учету на ПП подлежали все деревья с диаметром на высоте 1.3 м 5 см и более (древостой). Каждое дерево пронумеровано краской, что дает возможность длительного наблюдения за динамикой роста элементов леса, насаждения в целом и отдельных деревьев. При ревизии пробную площадь размечали рулетками, измеряли диаметр и высоту у каждого дерева и маркировали новые деревья, перешедшие из подроста в древостой. Стоящие деревья разделяли на живые и сухостойные.

Для определения объемов стволов деревьев и запасов насаждений использовали действующий Справочник учета лесных ресурсов Дальнего Востока (Справочник ..., 2010). По стандартным алгоритмам таксационных расчетов для каждой породы определяли средний диаметр, разряд высоты, запасы древесины, абсолютную и относительную полноту, густоту стояния древостоя, а также прирост и отпад (Анучин, 1982).

Для определения фитомассы древостоев лесных насаждений использовали метод аллометрических уравнений. Уравнения зависимости фитомассы дерева от диаметра для 18-ти пород лесообразователей были опубликованы ранее (Иванов и др., 2018).

Мертвую древесину учитывали по материалам ревизии, где для каждого дерева указывается состояние — здоровое, сухостой, валеж. Поскольку каждое дерево имеет номер, то проведение последовательных ревизий дает возможность выделить новообразованный за межревизионный период запас мортмассы, которую не разделяли на валеж и сухостой.

Общий прирост (Δ) и отпад (F) вычисляли по формулам:

$$\Delta = \frac{M_i^3 + M_i^c - M_{i-1}^3}{n_i - n_{i-1}}, \quad F = \frac{M_i^c}{n_i - n_{i-1}}, \quad (1, 2)$$

где M^3 — запас сырораствующей древесины, M^c — запас сухостоя и валежа, образованный за время между ревизиями, n — год ревизии, i — номер ревизии.

Значимость различий в доле сохранившихся деревьев оценивали с использованием критерия Фишера о равенстве дисперсий (F-test) и критерия Стьюдента (t-test).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Структура древостоев. На четырех представленных постоянных пробных площадях межревизионные периоды составляют 8, 12, 15, и 18 лет (табл. 1). Воздействие тайфуна Lionrock на рассматриваемые древостои различно: ПП 16 осталась нетронутой ветровалом, в березняках (ПП 8 и ПП 4) выпало соответственно 37 и 34% запаса древостоя, старовозрастный кедровник на ПП 5, имевший в 2001 г. очень высокий запас древесины — 569.9 м³ га⁻¹, почти полностью выпал. Значения относительной полноты кедровников, близкие к 1, указывают на их соответствие нормальным лесным насаждениям.

Состав насаждений до и после ветровала существенно не меняется. Постпиогенные березняки находятся в стадии естественного изреживания полога пород-“пионеров” — березы плосколистной и осины. Ветровое воздействие ускорило этот процесс: доля указанных пород в составах насаж-

дения уменьшается на 1–2 единицы (1 единица – 10% запаса древесины).

Годичные изменения запаса древесины характеризуют приростами. Различают чистый прирост, показывающий изменение запаса растущих деревьев и общий прирост, складывающийся из чистого прироста и отпада. На рис. 3 показано соотношение между общим приростом и отпадом на пробных площадях.

Производительность четырех рассматриваемых древостоев характеризуется общим приростом $4.8\text{--}7.0\text{ м}^3\text{ га}^{-1}\text{ год}^{-1}$. При этом средняя за период между ревизиями величина отпада сильно различается по пробным площадям: отпад в березовых лесах – 16.1 и $12.0\text{ м}^3\text{ га}^{-1}\text{ год}^{-1}$ (ПП 8- и ПП-4), в относительно нетронутым кедровнике – $8.2\text{ м}^3\text{ га}^{-1}\text{ год}^{-1}$ и в сильно нарушенном кедровнике – $33.5\text{ м}^3\text{ га}^{-1}\text{ год}^{-1}$. На всех четырех пробных площадях отпад превышает общий прирост, то есть чистый прирост древесины отрицательный вследствие ветровала.

Запасы надземной фитомассы. В табл. 2 и 3 приведены значения запасов надземной фитомассы древостоев (P) четырех насаждений по материалам двух ревизий, а также запасы мортмассы (валеж и сухостой) (P_m). До ветровала запасы фитомассы березняков (ПП 8 и ПП 4) составляли 242 и 178 т га^{-1} , при этом насаждения имели близкие запасы древесины (табл. 1). Разница объясняется различиями в породном составе насаждений: 20% запаса на ПП 8 приходится на дуб монгольский с высокой базисной плотностью древесины, а на ПП-4 такая же доля приходится на пихту и осину, то есть породы со значительно меньшей базисной плотностью. Базисная плотность древесины кедр корейского (370 кг м^{-3}) также меньше, чем у березы плосколистной (510 кг м^{-3}) (Касаткин и др., 2015а; Касаткин и др., 2016), однако запасы надземной фитомассы в кедровниках (ПП-5 и ПП-16) до нарушения выше, чем в березняках, в среднем на 38%. Это объясняется большими размерами деревьев в кедровниках: средняя высота березы 18–20 м, в то время как средняя высота кедр 25–27 м, по среднему диаметру главной породы различие двукратное (табл. 1). Таким образом, кедровые насаждения, существующие без нарушений длительное время в условиях Центрального Сихотэ-Алиня, являются значительно более емким резервуаром углерода по сравнению с вторичными производными насаждениями с доминированием березы плосколистной. Вероятно, запас надземной фитомассы 300 т га^{-1} (что эквивалентно запасу углерода 150 т С га^{-1}) можно считать максимальной углеродной емкостью для лесов кедровой формации восточного макросклона Центрального Сихотэ-Алиня в пределах высот 300–500 м над уровнем моря. Распределение фитомассы по породам не соответствует рас-

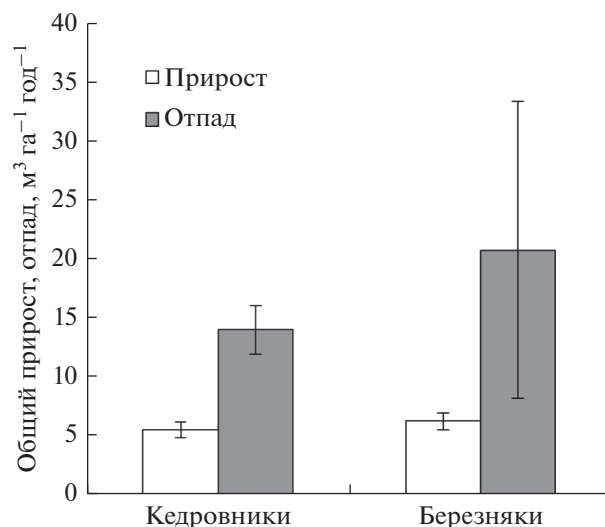


Рис. 3. Общий прирост и отпад на постоянных пробных площадях за период между ревизиями до и после ветровала (планками показан диапазон изменчивости показателей).

пределению запаса по причине различий в плотности древесины у разных видов деревьев, соотношения масс ствола и ветвей, а также в связи с неодинаковыми зависимостями запаса и фитомассы от диаметра дерева. Запасы фитомассы березняков уменьшились после ветровала в среднем на 74 т га^{-1} , а кедровников – на 131 т га^{-1} .

Для насаждений, пострадавших от ветровала, была рассчитана доля по фитомассе сохранившихся деревьев (рис. 4). Этот показатель связан с устойчивостью видов деревьев к ветровому воздействию. Видовая принадлежность деревьев отнюдь не главный фактор, определяющий выпадение деревьев при сильных тайфунах. При скорости ветра 40 м с^{-1} и более падают любые деревья, независимо от вида, размера, возраста (Apyomi et al., 2017). Вопрос об устойчивости видов к ветру требует отдельного изучения на имеющемся в Сихотэ-Алинском заповеднике материале. Здесь мы лишь представляем фактические данные о соотношении устоявших/выпавших деревьев, которые в дальнейшем могут быть включены в более детальный анализ.

Из хвойных пород менее устойчивы к ветровалу ель (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.)), пихта (*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.)) и кедр (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.). В лесорастительных условиях рассматриваемых пробных площадей лиственница (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) является наиболее устойчивым видом хвойных, что, вероятно, связано с более редкой кроной, уменьшающей парусность. Для осины (*Populus tremula* L.) и березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew) действие тайфуна ускоряет их естественное выпадение из состава древостоя. Наиболее устой-

Таблица 2. Запасы надземной фитомассы (P) и мортмассы (P_m) (т га^{-1} , абсолютно сухая масса) в березняках до и после ветровала по породам

	ПП 8				ПП 4			
	2009		2017		2004		2019	
	P	P_m	P	P_m	P	P_m	P	P_m
Бб	106.7	28.2	43.7	78.8	92.4	5.1	63.0	53.2
Бж	1.6	1.2	1.8	0	0.2	0	0	0.3
Бх	0	0	0	0	0	1.0	0	1.0
В	0	0.1	0	0	0.3	0	0	0.3
Д	61.5	1.0	52.5	26.3	5.1	0	6.6	2.8
Е	0.3	0	0.3	0.2	3.3	0.3	2.2	2.3
Л	16.7	0.7	13.7	6.5	6.9	0.1	5.6	5.4
Лп	18.3	0.9	18.1	5.0	4.7	0.7	5.0	2.9
Ос	3.0	0.8	0	3.0	30.2	1.8	15.8	27.3
П	8.2	0.2	6.6	4.8	33.4	0.2	21.0	30.9
К	21.5	0.1	11.2	9.4				
Клм	4.0	0.5	4.6	0.9				
Олх					1.9	1	1.3	0.9
Всего	241.8	33.7	152.5	134.9	178.4	10.2	120.5	127.3

Таблица 3. Запасы надземной фитомассы (P) и мортмассы (P_m) (т га^{-1} , абсолютно сухая масса) в кедровниках до и после ветровала по породам

Порода	ПП 5				ПП 16			
	2001		2019		2006		2018	
	P	P_m	P	P_m	P	P_m	P	P_m
Бж	28.7	11.0	0.8	38.2	0.1	0.1	0.3	0
В	1.5	0	0.1	1.8	0	0	1.2	0
Д	5.7	0	4.8	3.5	10.7	7.2	4.4	7.2
Е	4.9	6.7	3.0	6.3	3.4	0.3	3.1	1.4
К	212.8	12.9	29.4	221.3	141.7	9.8	145.1	11.6
Клж	4.1	1.3	0.7	5.1	0	0	0.6	0
Лп	19.7	0.8	10.4	15.7	2.1	0	2.9	0.4
П	17.9	3.3	3.1	25.8	22.1	3.4	23.1	9.3
Клз	0.5	0.1	0	0.7				
Клм	2.1	0.5	1.0	1.9				
Л					101.6	15.7	84.1	23.4
Ос	1.3	0	0	2				
Всего	299.2	36.6	53.3	322.3	281.7	36.5	264.8	53.3

чивыми породами оказались дуб (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), клены, липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.) и лиственница. К массивам данных (рис. 4) был применен F-test, подтвердивший отсутствие значимых отличий в дисперсиях доли сохранившихся деревьев. Для большинства пар различия в среднем значении доли сохранившихся де-

ревьев не значимы, однако t-критерий Стьюдента подтвердил значимость отличий в этом показателе для следующих пар видов: клен—береза, клен—осина, лиственница—ель, дуб—осина ($p < 0.05$), т.е. между наиболее и наименее устойчивыми видами.

Кедровые леса, благодаря экологической пластичности кедра корейского, занимают обшир-

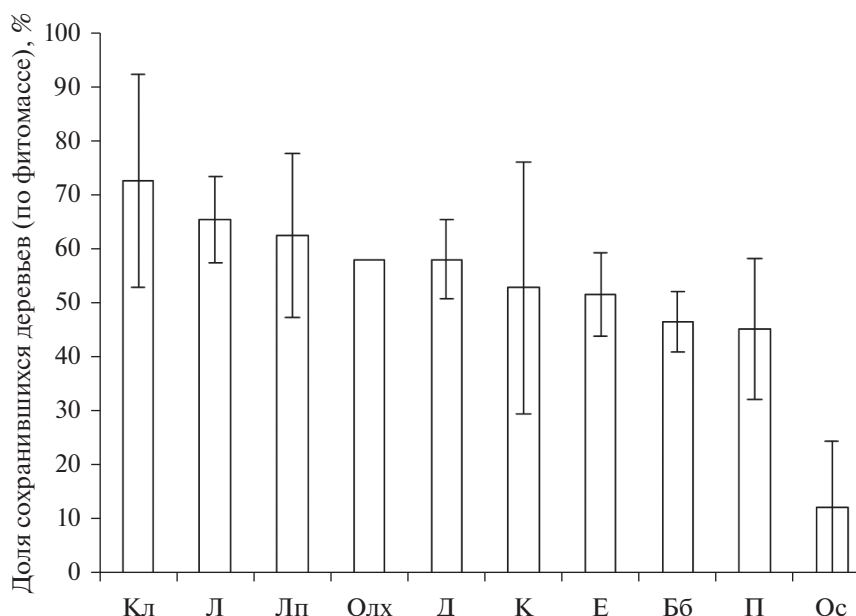


Рис. 4. Доля сохранившихся вследствие тайфуна деревьев по всему массиву данных, планки — ошибка среднего, обозначения как в табл. 2.

ные площади и формируют очень разнообразный ряд типов леса. В настоящей работе рассматриваются кедровники среднего высотного пояса, один из которых достоверно возник после пожара приблизительно 200-летней давности. Максимальные запасы таких кедровников в Сихотэ-Алинском заповеднике оцениваются в $500 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (Флягина, 1982). Близкие значения ($400\text{--}600 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$) приводятся для пробных площадей в Уссурийском заповеднике (Манько и др., 2010). Более высокий запас $724.2 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ зафиксирован в 2003 г. на ППП 1-1946 в Уссурийском заповеднике, в насаждении, которое авторы называют кедровым бором и относят к фитоценозам с первым посткатастрофическим поколением кедра (там же). Похожий по состоянию и по генезису древостой с запасом $642.5 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ описан нами в национальном парке “Бикин” (Иванов и др., 2018). В базе данных о фитомассе лесов Евразии, составленной В.А. Усольцевым (2010), максимальное значение запаса углерода надземной фитомассы для кедровников Приморья составляет $150.5 \text{ т С га}^{-1}$ (данные по Среднему Сихотэ-Алиню). Таким образом, наше предложение считать запас древесины $500 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ и запас углерода 150 т С га^{-1} максимальной углеродной емкостью для фитомассы кедровников в районе исследования вполне обоснован.

В 1980-е г. для некоторых пробных площадей Сихотэ-Алинского заповедника были определены показатели продукционного процесса, в частности запас углерода надземной фитомассы, которая составила 133 т С га^{-1} (при использовании

для пересчета в запас углерода коэффициента 0.5) у кедровника с дубом (6К4Д, 180 лет) (Утенкова, Громыко 1990), что близко к нашей оценке. В дубняке рододендроновом, по данным тех же авторов, углерод фитомассы составил 127 т С га^{-1} , а в дубовом криволесье на низкой морской террасе — 27 т С га^{-1} .

Общий прирост в четырех рассматриваемых насаждениях составил $4.8\text{--}7.0 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$. А.И. Кудинов (2004) приводит значения общего прироста для кедровых лесов южного Приморья в диапазоне $3.3\text{--}6.2 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$. По его же данным, на трех постоянных пробных площадях в послерубочно-пирогенных березняках общий прирост составляет $5.69, 8.12$ и $3.52 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$, причем значение $8.12 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ найдено для березняка, в котором присутствуют деревья как семенного, так и порослевого происхождения (Кудинов, 2012). Полученные в настоящей работе значения прироста фитомассы сопоставимы с аналогичными для ельников республики Коми, где общий прирост надземной фитомассы в разных типах зеленомошной формации оценивается в $3.5\text{--}9.0 \text{ т га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ (Бобкова и др., 2014).

Большая уязвимость хвойных пород деревьев показана в ряде исследований, посвященных ветровалам (Anyomi et al., 2017), что согласуется с нашими данными об относительной устойчивости видов (рис. 6).

Натурные и дистанционные обследования ветровальных площадей на территории заповедника указывают на мало предсказуемые послед-

ствия ветрового удара, когда в пределах одного лесотаксационного выдела (одинаковых условиях растительности и рельефа) полностью выпадает древостой на десятках га, но часть площади остается ненарушенной. На конкретной пробной площади сильный продолжительный порыв ветра может перевести из растущего древостоя в валеж от 0 до 100% запаса насаждений. Продолжение мониторинга лесных растительных сообществ на постоянных пробных площадях в Сихотэ-Алинском заповеднике, так или иначе затронутых действием тайфуна Liongock, позволит описать закономерности восстановительного процесса после этого беспрецедентного явления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ветровал 2016 г., вызванный тайфуном Liongock, оказал сильное негативное воздействие на древостой лесов центрального Сихотэ-Алиня. На участках несплошного выпадения деревьев наиболее уязвимыми оказались хвойные породы (ель, пихта, кедр) — образователи коренных лесов в районе исследования, а также береза и осина — доминанты вторичных лесов, находящиеся на стадии естественного распада. Относительно более устойчивыми к ветровалу оказались твердолиственные породы (клены, дуб) и липа. На всех обследованных участках выявлен отрицательный баланс фитомассы — отпад в межревизионный период существенно превышает прирост. Ветровал привел к уменьшению запаса фитомассы березняков и кедровников на 74 и 131 т га⁻¹ соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н.П. Лесная таксация. Учебник для ВУЗов. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
- Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в средне-таежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
- Бондарчук С.Н., Возмищева А.С., Громыко М.Н., Пименова Е.А. Изменение структуры растительного покрова кедровников, вызванное тайфуном Лайонрок // Растения в муссонном климате: антропогенная и климатогенная трансформация флоры и растительности: матер. всерос. конф. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2018. С. 21–26.
- Галанин А.В., Беликович А.В., Богачева А.В. и др. Растительный мир Сихотэ-Алинского биосферного заповедника: разнообразие, динамика, мониторинг. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2000. 373 с.
- Громыко М.Н. Первые результаты изучения катастрофического влияния тайфуна Лайонрок на лесные экосистемы Сихотэ-Алинского заповедника // XII дальневосточная конференция по заповедному делу. Биробиджан, 10–13 октября 2017 г. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2017. С. 35–37.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 г. М.: Росгидромет, 2020. 97 с.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1. № 1. С. 1–24.
- Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В., Мудрак В.П. Запасы и потоки углерода на землях лесного фонда Приморского края при оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2018. № 2(10). С. 46–50.
- Иванов А.В., Касаткин А.С., Мудрак В.П., Замолодчиков Д.Г. Надземная фитомасса древостоев хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья // Лесоведение. 2018. № 6. С. 454–463.
- Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Акимов Р.Ю., Пауков Д.В., Мудрак В.П. Надземная фитомасса и квалитетрия некоторых древесных пород южного Сихотэ-Алиня // Эко-потенциал. 2015а. № 1(9). С. 41–50.
- Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Иванов А.В., Пауков Д.В., Акимов Р.Ю. Надземная фитомасса деревьев в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Сообщение 3 // Эко-потенциал. 2016. № 1(13). С. 32–36.
- Колесников Б.П. Растительность восточных склонов Среднего Сихотэ-Алиня // Тр. Сих.-Алинского заповедника. 1938. Вып. 1. С. 25–207.
- Кудинов А.И. Динамика производных фитоценозов на юге Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2012. 140 с.
- Кудинов А.И. Широколиственно-кедровые леса южного Приморья и их динамика. Владивосток: Дальнаука, 2004. 367 с.
- Манько Ю.И., Кудинов А.И., Гладкова Г.А., Жабыко Е.В., Бутовец Г.Н., Орехова Т.П. Леса заповедника “Уссурийский” (мониторинг динамики). Владивосток: Дальнаука, 2010. 224 с.
- Справочник для учета лесных ресурсов Дальнего Востока / Под ред. В.Н. Корякина. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2010. 525 с.
- Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
- Усольцев В.А. Некоторые методические и концептуальные неопределенности при оценке приходной части углеродного цикла лесов // Экология. 2007. № 1. С. 3–12.
- Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
- Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.
- Утенкова А.П., Громыко Л.Т. Характеристика продукционно-деструкционного процесса в экосистемах пояса дубовых лесов // Экологические исследования в Сихотэ-Алинском заповеднике. М., 1990. С. 25–44.
- Флягина И.А. Лесовосстановление в кедрово-широколиственных лесах на восточных склонах Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальневосточное кн. изд-во, 1982. 176 с.
- Anyomi K.A., Mitchell S.J., Perera A.H., Ruel J. Windthrow Dynamics in Boreal Ontario: A Simulation of the Vulnerability

of Several Stand Types across a Range of Wind Speeds // *Forests*, 2017. № 8. P. 1–15.

Bradford J.B., Fraver S., Milo A.M., D'Amato A.W.D., Palik B., Shinneman D.J. Effects of multiple interacting disturbances and salvage logging on forest carbon stocks // *Forest Ecology and Management*. 2012. № 267. P. 209–214.

Chirici G., Botalico F., Giannetti F., Del Perugia B., Travaglini D., Nocentini S., Kutchartt E. et al. // Assessing forest windthrow damage using single-date, post-event airborne laser scanning data. *Forestry*. 2017. № 2. P. 1–11.

Eisfelder Ch., Klein I., Bekkuliyeva A., Kuenzer C., Buchroithner M. F., Dech S. Above-ground biomass estimation based on NPP time-series – A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan // *Ecological Indicators*. 2017. V. 72. P. 13–22.

Eriksson M., Pouttu A., Roininen H. The influence of windthrow area and timber characteristics on colonization of wind-felled spruces by *Ips typographus* (L.) // *Forest Ecology and Management*. 2005. № 216. P. 105–116.

Keith H., Mackey B.G., Lindenmayer D.B. Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's

most carbon-dense forests // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. № 106. P. 11635–11640.

Kramer M.G., Hansen A.J., Taper M.L., Kissinger E.J. Abiotic controls on long-term windthrow disturbance and temperate rain forest dynamics in southeast Alaska // *Ecology*. 2001. № 82. P. 2749–2768.

Norden N., Angarita H.A., Bongers F., Martinez-Ramos M., Granzow-de la Cerda I., Breugel M. et al. Successional dynamics in Neotropical forests are as uncertain as they are predictable // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015. № 112(26). P. 8013–8018.

Perruchoud D.O., Fischlin A. The response of the carbon cycle in undisturbed forest ecosystems to climate change: a review of plant-soil models // *J. Biogeography*. 1995. № 22. P. 759–774.

Vozmishcheva A.S., Bondarchuk S.N., Gromyko M.N., Kislov D.E., Pimenova E.A., Salo M.A., Korznikov K.A. Strong Disturbance Impact of Tropical Cyclone Lionrock (2016) on Korean Pine-Broadleaved Forest in the Middle Sikhote-Alin Mountain Range, Russian Far East // *Forests*. 2019. № 10. P. 10–17.

Windfall's Impact on Structure and Phytomass of the Siberian Pine and Birch Forests of the Central Sikhote-Alin

A. V. Ivanov^{1, 2, *}, M. A. Salo³, S. N. Bondarchuk³, D. G. Zamolodchikov²,
A. V. Mogileva³, and N. A. Kochkarina⁴

¹*Institute of geology and environmental management of the Far East Branch of the RAS,
Relochniy ln. 1, Blagoveshchensk, 675000 Russia*

²*Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, Profsoyuznaya st., 84/32, bldg. 14, Moscow, 117997 Russia*

³*Sikhote-Alin Biosphere Reserve, Terney stl., 692150 Russia*

⁴*Primorskaya State Agricultural Academy, Bluhersa st., 44, Ussuriysk, 692510 Russia*

*E-mail: aleksandr86@mail.ru

An assessment of the windfall impact on the structure and phytomass of Siberian pine and birch forests stands was carried out based on the materials of surveys from permanent sample plots (PSP) on the territory of the Sikhote-Alin biosphere reserve, on the eastern macroslope of the Sikhote-Alin mountain range, where, due to the impact of the Lionrock typhoon, the forest stand got damaged. The 2016 windfall is a catastrophic phenomenon unprecedented in the history of the reserve. More than 9% of the forest cover of the special protected area has been transformed into windfall areas. The initial materials for the analysis were obtained during the inspections of the test plots performed before and after the windfall. The inter-inspection period for different objects is 8–18 years. The stock of aboveground phytomass was determined using the forest inventory data and the regional allometric equations. As a result of the windfall, the average stock of Siberian pine forests decreased from 552 to 298 m³ ha⁻¹, while the birch forests' area decreased from 253 to 163 m³ ha⁻¹. The total growth rate for Siberian pine and birch forests was 6.2 and 5.5 m³ ha⁻¹ year⁻¹, respectively, and the loss was 13.6 and 9.8 m³ ha⁻¹ year⁻¹, respectively. The average phytomass stock of the pine stands is 291 t ha⁻¹, the birch stands – 210 t ha⁻¹. The phytomass reserves of the birch forests decreased as a result of windfall by 35%, and the pine forests – by 44%. The carbon stock of 150 t C ha⁻¹ can be considered the maximum carbon capacity of the phytomass for pine forests of the middle and upper altitudinal belt, which can be used to assess the depositing potential of disturbed forests of this formation. Of the conifers, spruce, fir and Siberian pine are less resistant to windfall. For aspen and flat-leaved birch, the impact of the typhoon enhances their natural loss from the stand composition. The most resistant species were maples, Amur linden and larch.

Keywords: timber stock, growth, productivity, Lionrock typhoon, phytomass.

Acknowledgements: The study has been carried out with the financial support from RSF 19–77–30015 (data analysis and generalisation) and the State contract with the Centre for Forest Ecology and Productivity AAAA–A18–118052400130–7 (field research).

REFERENCES

- Anuchin N.P., *Lesnaya taksatsiya* (Forest taxation), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- Anyomi K.A., Mitchell S.J., Perera A.H., Ruel J., Windthrow Dynamics in Boreal Ontario: A Simulation of the Vulnerability of Several Stand Types across a Range of Wind Speeds, *Forests*, 2017, No. 8, pp. 1–15.
- Bobkova K.S., Mashika A.V., Smagin A.V., *Dinamika sodержaniya ugleroda organicheskogo veshchestva v srednetaezhnykh el'nikakh na avtomorfnykh pochvakh* (Dynamics of carbon contents in organic matter of spruce forests growing on automorphous soils in the Middle Taiga), Saint-Petersburg: Nauka, 2014, 202 p.
- Bondarchuk S.N., Vozmishcheva A.S., Gromyko M.N., Pimenova E.A., *Izmenenie struktury rastitel'nogo pokrova kedrovnikov, vyzvannoe taifunom Laionrok* (Changes in the structure of the vegetation cover of stone pine forests caused by typhoon Lionrock), *Rasteniya v mussonnom klimate: antropogennaya i klimatogennaya transformatsiya flory i rastitel'nosti* (Plants in a monsoon climate: anthropogenic and climatogenic transformation of flora and vegetation), Proc. of All-Russian Conf., Blagoveshchensk: Dal'nevostochnyi GAU, pp. 21–26.
- Bradford J.B., Fraver S., Milo A.M., D'Amato A.W., Palik B., Shinneman D.J., Effects of multiple interacting disturbances and salvage logging on forest carbon stocks, *Forest Ecology and Management*, 2012, No. 267, pp. 209–214.
- Chirici G., Bottalico F., Giannetti F., Del Perugia B., Travaglini D., Nocentini S., Kutchartt E. et al., Assessing forest windthrow damage using single-date, post-event airborne laser scanning data, *Forestry*, 2017, No. 2, pp. 1–11.
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2019 god*, (Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019), Moscow: Rosgidromet, 2020, 97 p.
- Eisfelder Ch., Klein I., Bekkulyeva A., Kuenzer C., Buchroithner M. F., Dech S., Above-ground biomass estimation based on NPP time-series – A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan, *Ecological Indicators*, 2017, Vol. 72, pp. 13–22.
- Eriksson M., Pouttu A., Roininen H., The influence of windthrow area and timber characteristics on colonization of wind-felled spruces by *Ips typographus* (L.), *Forest Ecology and Management*, 2005, No. 216, pp. 105–116.
- Flyagina I.A., *Lesovozobnovlenie v kedrovyykh lesakh na vostochnykh sklonakh Sikhote-Alinya* (Reforestation of montane pine forests on the eastern slopes of Sikhote-Alin), Vladivostok: Dal'nevostochnoe knizhnoe izdatel'stvo, 1982, 177 p.
- Galanin A.V., Belikov A.V., Bogacheva A.V. i dr., *Rastitel'nyi mir Sikhote-Alinskogo biosfernogo zapovednika: raznoobrazie, dinamika, monitoring* (The flora of the Sikhote-Alin biosphere reserve: diversity, dynamics, monitoring), Vladivostok: BPI DVO RAN, 2000, 373 p.
- Gromyko M.N., *Pervye rezul'taty izucheniya katastroficheskogo vliyaniya taifuna Laionrok na lesnye ekosistemy Sikhote-Alinskogo zapovednika, XII Far Eastern conference on reserve management*, Proc. Conf., Birobidzhan, 10–13 October, 2017, Birobidzhan: Institut kompleksnogo analiza regional'nykh problem DVO RAN, 2017, pp. 35–37.
- Ivanov A.V., Kasatkin A.S., Mudrak V.P., Zamolodchikov D.G., *Nadzemnaya fitomassa drevostoev khvoino-shirokolistvennykh lesov yuzhnogo Primor'ya* (Aboveground phytomass of mixed forests of southern Primorye), *Lesovedenie*, 2018, No. 6, pp. 454–463.
- Kasatkin A.S., Zhanabaeva A.S., Akimov R.Y., Paukov D.V., Mudrak V.P., *Nadzemnaya fitomassa i kvalimetriya nekotorykh drevesnykh porod yuzhnogo Sikhote-Alinya* (Aboveground phytomass and qualimetry of tree species in southern Sikhote-Alin), *Eko-potentsial*, 2015a, No. 1(9), pp. 41–50.
- Kasatkin A.S., Zhanabaeva A.S., Ivanov A.V., Paukov D.V., Akimov R.Y., *Nadzemnaya fitomassa derev'ev v lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya. Soobshchenie 3* (Tree aboveground biomass in forests of the southern Sikhote-Alin' mountains. Report 3), *Eko-potentsial*, 2016, No. 1(13), pp. 32–36.
- Kasatkin A.S., Zhanabaeva A.S., Paukov D.V., Akimov R.Y., Tataurov V.A., *Nadzemnaya fitomassa derev'ev v lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya. Soobshchenie 2* (Tree aboveground biomass in forests of the southern Sikhote-Alin' mountains. Report 2), *Eko-potentsial*, 2015b, No. 4(12), pp. 28–31.
- Keith H., Mackey B.G., Lindenmayer D.B., Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, No. 106, pp. 11635–11640.
- Kolesnikov B.P., *Rastitel'nost' vostochnykh sklonov Srednego Sikhote-Alinya* (Vegetation of eastern slopes of Central Sikhote-Alin), In: *Trudy Sikhote-Alinskogo gosudarstvennogo zapovednika* (Proceedings of Sikhote-Alin State Nature Reserve), Vladivostok: Izd-vo DVF AN SSSR, 1938, Vol. 1, pp. 25–207.
- Kramer M.G., Hansen A.J., Taper M.L., Kissinger E.J., Abiotic controls on long-term windthrow disturbance and temperate rain forest dynamics in southeast Alaska, *Ecology*, 2001, No. 82, pp. 2749–2768.
- Kudinov A.I., *Dinamika proizvodnykh fitotsenozov na yuge Primorskogo kraya* (Dynamics of derivatives of phytocenoses in the south of Primorsky Krai), Vladivostok: Dal'nauka, 2012, 140 p.
- Kudinov A.I., *Shirokolistvenno-kedrovye lesa Yuzhnogo Primor'ya i ikh dinamika* (Broadleaf siberian pine forests of the southern Primorsky Krai and the dynamics), Vladivostok: Dal'nauka, 2004, 379 p.
- Man'ko Y.I., *Lesa zapovednika "Ussuriiskii"* (Forests of Ussuri nature reserve), Vladivostok: Dal'nauka, 2010, 224 p.
- Norden N., Angarita H.A., Bongers F., Martinez-Ramos M., Granzow-de la Cerdas I., Breugel M. et al., Successional dynamics in Neotropical forests are as uncertain as they are predictable, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, No. 112(26), pp. 8013–8018.
- Perruchoud D.O., Fischlin A., The response of the carbon cycle in undisturbed forest ecosystems to climate change: a review of plant-soil models, *Journal of Biogeography*, 1995, No. 22, pp. 759–774.
- Spravochnik dlya ucheta lesnykh resursov Dal'nego Vostoka* (Handbook on inventory of forest resources in the Far East), Khabarovsk: Izd-vo Dal'NIILKh, 2010, 526 p.
- Sukachev V.N., Zonn S.V., *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* (Guidelines for the forest types study), Moscow: Izd. AN SSSR, 1961, 144 p.

Usol'tsev V.A., *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii (Eurasian forest biomass and primary production data)*, Ekaterinburg: UrO RAN, 2010, 570 p

Usol'tsev V.A., Some methodological and conceptual uncertainties in estimating the income component of the forest carbon cycle, *Russian J. Ecology*, 2007, Vol. 38, No. 1, pp. 1–10.

Usol'tsev V.A., Zalesov S.V., *Metody opredeleniya biologicheskoi produktivnosti nasazhdenii* (Methods of assessment of bioproductivity of forests), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2005, 146 p.

Utenkova A.P., Gromyko L.T., *Kharakteristika produktsionno-destruktsionnogo protsessa v ekosistemakh poyasa dubovykh lesov* (Characteristics of the production-destruction process in the ecosystems of the oak forest belt), In: *Ekologicheskie issledovaniya v Sikhote-Alinskom zapovednike* (Ecological research in the Sikhote-Alin nature reserve), Moscow, 1990, pp. 25–44.

Vozmishcheva A.S., Bondarchuk S.N., Gromyko M.N., Kislov D.E., Pimenova E.A., Salo M.A., Korznikov K.A., Strong Disturbance Impact of Tropical Cyclone Lionrock (2016) on Korean Pine-Broadleaved Forest in the Middle Sikhote-Alin Mountain Range, Russian Far East, *Forests*, 2019, No. 10, pp. 10–17.

Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Chestnykh O.V., *Dinamika balansa ugleroda v lesakh federal'nykh okrugov Rossiiskoi Federatsii* (Dynamic pattern of carbon balance in the forests of federal districts of the Russian Federation), *Voprosy lesnoi nauki*, 2018, Vol. 1, No. 1.

Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V., Mudrak V.P., *Zapasy i potoki ugleroda na zemlyakh lesnogo fonda Primorskogo kraia pri otsenke po sisteme ROBUL* (Carbon stocks and fluxes on the forest lands of the Primorsky Territory assessed using the ROBUL system), *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2018, No. 2(10), pp. 46–50.