

УДК 551.58+630*111

РОЛЬ ЛЕСОВ В АДАПТАЦИИ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА¹

© 2021 г. О. Н. Липка^{а, *}, М. Д. Корзухин^а, Д. Г. Замолотчиков^{а, б}, Н. Ю. Добролюбов^а,
С. В. Крыленко^а, А. Ю. Богданович^а, С. М. Семенов^а

^аИнститут глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля,
ул. Глебовская, д. 20Б, Москва, 107258 Россия

^бЦентр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва, 117997 Россия

*E-mail: olipka@mail.ru

Поступила в редакцию 13.04.2021 г.

После доработки 05.05.2021 г.

Принята к публикации 03.06.2021 г.

Проведен обзор литературы по проблемам воздействия изменений климата на леса России и адаптации лесов к этим воздействиям. Изменения климата существенно влияют на лесные экосистемы на территории России. Преобладают негативные эффекты, хотя отмечаются и положительные. В статье проанализирована необходимость адаптации лесов исходя из воздействий характерных гидрометеорологических явлений и их комплексов, а также потенциала естественной адаптации и возможности применения различных мер на практике. Характер воздействий (отрицательный, положительный, нейтральный) оценен на основе приоритетов сохранения биоразнообразия, эффективности функционирования лесов и сохранения лесных ресурсов. Основная цель адаптационных мер — предотвратить гибель или снижение продуктивности лесов в России на значительных территориях. Одновременно леса могут использоваться для адаптации к изменениям климата иных объектов, выполняя защитные и регулирующие функции при неблагоприятных погодно-климатических воздействиях. Выделены типы применения адаптации, направленные на предотвращение ущерба; снижение ущерба; готовность к ликвидации последствий; использование новых благоприятных возможностей; использование естественной адаптации экосистем. Леса эффективны для поддержания гидрологического режима, защиты от наводнений, снижения скорости ветра, защиты эрозии, пыльных бурь и последствий воздействия волн жары. Для эффективного использования лесов в качестве меры адаптации необходимо заботиться об их способности оказывать необходимые экосистемные услуги, т.е. адаптировать сами леса. В Лесном кодексе Российской Федерации адаптация к изменениям климата не отражена, но ряд категорий защитных лесов оказывают соответствующие экосистемные услуги. Целесообразно выделить новую категорию защитных лесов — “адаптационные леса”. Устойчивое лесопользование может способствовать одновременному усилению экосистемных функций лесов по смягчению изменений климата и адаптации к ним.

Ключевые слова: изменение климата, лесные экосистемы, лесное хозяйство, адаптация лесов, адаптационные леса.

DOI: 10.31857/S0024114821050077

Глобальные изменения климата приводят к значительным трансформациям ландшафтов во временном масштабе сотен и тысяч лет. Живая природа всегда стремится подстраиваться к абиотическим условиям. Например, на протяжении плейстоцена и голоцена территория Европы то покрывалась практически полностью лесами, то становилась преимущественно безлесной, что со-

ответствовало периодам потепления и похолодания, а также более гумидного или аридного климатов (Боуэн, 1981). При этом трансформация лесных ландшафтов за последние тысячелетия была обусловлена не только климатическими факторами. История освоения и использования человеком ландшафтов также насчитывает тысячи лет, что привело к значительным изменениям в структуре и функционировании экосистем, прежде всего лесных, как преобладающих по площади (Романова, 1998). Данные палеорекострукции свидетельствуют об обширной рубке лесов в Европейской России уже до 1700 г. и еще

¹ Работа выполнена при поддержке темы госзадания № АААА-А20-120070990079-6 ФГБУ “ИГКЭ” и АААА-А18-118052590019-7 ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН.

большой рубке лесов в XVIII и XIX вв. В XX в. тенденции значительно различаются по регионам и в разные периоды времени (Kuemmerle et al., 2015).

Современные изменения климата идут с беспрецедентной скоростью. В конце 2019 г. средняя глобальная температура превысила расчетный доиндустриальный уровень на 1.1°C, а пять лет, с 2015 по 2019 гг., и десять лет, с 2010 по 2019 гг., стали самыми теплыми за всю историю наблюдений (Доклад об особенностях климата ..., 2020). Изменения климата на территории России имеют свои особенности. Темпы потепления на территории России с середины 1970-х гг. примерно в 2.5 раза превосходят среднеглобальные. На большей части нашей страны прослеживается тенденция к увеличению годовых сумм осадков со скоростью 2.2%/10 лет (в среднем за период 1976–2019 гг.), хотя в отдельных районах (центр Европейской территории России, север Чукотки) зафиксировано их сокращение. Динамика осадков по сезонам в различных регионах России еще более вариативна. Кроме того, изменение климата проявляется в нарастании его “нервозности”, т.е. увеличении числа экстремальных (аномальных) погодных явлений и их последствий, таких как волны тепла, засухи, паводки, стихийные пожары и др. в 1.5–2 раза по сравнению с концом прошлого века (Доклад об особенностях климата ..., 2020).

На территории России опасные гидрометеорологические явления отмечаются фактически ежедневно, причем, согласно статистике, наиболее разрушительными являются в том числе экстремальные ветры, осадки, наводнения. По данным Росгидромета, опасные погодные явления стали более интенсивными и разрушительными, чем ранее, и зачастую влекут за собой техногенные чрезвычайные ситуации. В России ущерб от воздействия опасных и неблагоприятных климатообусловленных явлений составляет не менее 30–60 млрд рублей в год (Доклад о научно-методических основах ..., 2020).

Природные системы, в том числе леса, ныне не имеют времени плавно эволюционировать, как это происходило на протяжении предшествующих геологических эпох. Мы наблюдаем глобальный природно-антропогенный эксперимент, не имеющих аналогов в прошлом. Изменение продуктивности, сдвиг ареалов видов, сдвиг природных зон и высотных поясов растительности, вспышки численности насекомых-вредителей, гибель лесов на значительных площадях в результате стихийных бедствий — последствия изменений климата указывают на необходимость усиления адаптации лесных экосистем и лесного хозяйства.

Цель настоящей обзорной статьи — анализ того, насколько при современных изменениях климата и трансформации ландшафтов: а) леса нуждаются в адаптации к наблюдаемым и ожидаемым

изменениям климата; б) экосистемные функции лесов могут быть использованы для адаптации иных природных и хозяйственных объектов к изменениям климата; в) какие меры в лесном хозяйстве могут использоваться для адаптации к изменению климата. Для достижения поставленных целей следовало решить следующие задачи: а) охарактеризовать совокупности факторов, существенно влияющих на леса; б) выделить совокупность объектов, на которые существенно влияют леса; в) распределить научные публикации мировой литературы по выявленным грациям. По существу, это мета-анализ проблемы. Как результат рассмотрения, авторы предлагают направления деятельности для адаптации лесов к выбранным факторам и варианты использования экосистемных функций лесов для адаптации к изменениям климата.

ОСНОВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

В статье 5 Лесного Кодекса Российской Федерации (2006) говорится, что “использование, охрана, защита, воспроизводство лесов осуществляются исходя из понятия о лесе как об экологической системе или как о природном ресурсе”. В нашей работе лес трактуется как экосистема, обладающая определенным набором функций, в том числе важных для предотвращения изменения климата или адаптации к нему (“климатические экосистемные услуги”). Набор экосистемных услуг, их количество и качество зависят от конкретных природных условий и состояния лесного массива, степени его нарушенности.

Для общей классификации лесных экосистем, учитывающей климатические особенности территорий, использовалась легенда карты “Биомы России” (2018): от лесотундровых до лесостепных и субтропических, включая интразональные и лесные пояса биомов гор.

В качестве основной информации об изменении климата на территории России использовались доклады Росгидромета и его научных институтов, в первую очередь “Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации” (2008, 2014) и ежегодный “Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации” (2019). Более общая информация о трендах и прогнозах была взята из публикаций Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2014, 2019).

Определение адаптации к изменению климата применяется в трактовке IPCC (2001): *адаптация к изменению климата* означает “приспособление природных и антропогенных систем в ответ на фактическое или ожидаемое воздействие измене-

ний климата или его последствий, которое позволяет снизить вред и использовать благоприятные возможности". В более поздних публикациях IPCC термин уточняется и рассматривается как "**процесс приспособления** к фактическому или ожидаемому климату и его последствиям. В человеческих системах адаптация направлена на смягчение или предотвращение ущерба, или использование полезных возможностей. В некоторых природных системах вмешательство человека может способствовать адаптации к ожидаемому климату и его последствиям" (IPCC, 2014).

В данной статье анализируются адаптационные меры, которые может предпринять человек для приспособления к изменению климата, включая использование экосистемных услуг. При этом естественная адаптация лесных экосистем интегрируется в планирование адаптации.

Выделяют четыре группы экосистемных услуг леса (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Букварева и др., 2018; Зиновьева, 2020): 1) обеспечивающие (волокна — древесина, недревесные продукты леса, пищевые лесные ресурсы, генетические ресурсы, пресная вода); 2) регулирующие (водорегулирующие функции, регулирование качества воздуха — депонирование углерода, опыление, биологический контроль, сохранение местобитаний и условий для воспроизводства редких и хозяйственно-ценных видов диких животных, регулирование климата, почвозащитные функции); 3) культурные (этнические, духовные, образовательные, эстетические, рекреационные, научные, оздоровительные эффекты); 4) поддерживающие (почвообразование, фотосинтез и образование первичной продукции, круговорот питательных веществ, круговорот воды, регулирование потоков энергии).

Климатические экосистемные услуги лесов относятся, главным образом, к двум группам услуг — к регулиującym и поддерживающим, реже — к обеспечивающим (Хоссейн, 2017; Логинов и др., 2018; Leskinen et al., 2020).

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ЛЕСОВ

Прежде всего, в контексте изменений климата, лес воспринимается как поглотитель и хранилище углерода. Это — регулирующая экосистемная функция. В процессе фотосинтеза углерод поглощается из атмосферы в виде CO_2 и переходит в биомассу растений. Одновременно в экосистемах идут процессы, возвращающие углерод в атмосферу, например, дыхание, разложения отпада или лесной подстилки грибами и бактериями, т.е. лес не только поглощает, но и выделяет углекислый газ. С точки зрения регулирования климатической системы, молодые леса важны как актив-

ный поглотитель CO_2 , а малонарушенные старовозрастные леса, баланс углерода в которых близок к нулю (т.е. поглощается примерно столько же, сколько и выделяется), важны как хранилище больших запасов углерода, причем не только в наземной фитомассе, но также в подземной фитомассе и в почве (Замолотчиков, 2011а; Коротенко и др., 2014).

Сведение лесов привело к значительному изменению альбедо (т.е. отражательной способности земной поверхности). При устойчивом снежном покрове альбедо хвойного леса колеблется от 35% до 50%, а при сухом и чистом снеге достигает 60% (Неелова, 2007). Альбедо лиственного леса летом составляет 16–20% и близко по значению к альбедо почвенно-земельного покрова, тогда как альбедо травяного покрова несколько выше: 21–25% (Исаков, 2013). Изменение альбедо на 10% приводит к изменению приземной температуры более чем на 2°C (Неелова, 2007). В результате сведения лесов и изменения в землепользовании альбедо в разные сезоны может как увеличиваться, так и уменьшаться.

В некоторых публикациях анализируется связь между лесными пожарами и изменением альбедо в Арктике. Микроскопические частички сажи поднимаются достаточно высоко и держатся в атмосфере достаточно долго для того, чтобы быть перенесенными и выпасть потом на покрытие льдом и снегом поверхности, снижая их альбедо (Смирнов и др., 2015; Гинзбург и др., 2020).

Перечисленные климатические экосистемные услуги лесов относятся к регулиującym, оказывающим воздействие на глобальную климатическую систему. Поглощение и хранение CO_2 относится к экосистемным услугам, помогающим **предотвратить** или **смягчить** сами изменения климата. В настоящее время сложилась ситуация, когда их уже недостаточно для ограничения рисков, и необходимо усиливать и использовать экосистемные услуги лесов другого типа — **адаптационные**.

ВОЗДЕЙСТВИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЛЕСА

Как и любая другая природная система, леса подвергаются воздействиям изменения климата. Можно выделить спектр погодно-климатических явлений и их последствий, которые воздействуют на лесные экосистемы, приводя к их трансформации. Сочетание повышения приземной температуры воздуха и уменьшения количества осадков или режима их выпадения в некоторых регионах страны (например, на юге Европейской территории России), приводит к увеличению частоты и количества засух (Второй оценочный доклад ..., 2014). Как следствие — отмечается увеличение ко-

личества случаев лесных пожаров и площади, пройденной огнем. Кроме того, немаловажным фактором уязвимости лесов в результате климатических изменений является процесс расширения ареалов вредителей и болезней леса (Второй оценочный доклад ..., 2014).

Во многих регионах отмечается продвижение границы леса на север и вверх по склонам гор, увеличение продуктивности низкобонитеных северотаежных лесов (Кравцова, Лошкарева, 2010; Kharuk et al., 2010, 2018; Frost, Epstein, 2014; Zhu et al., 2016; Тишков и др., 2018; Боровичев и др., 2020; Им и др., 2020). Кроме того, отмечаются направленные изменения разнообразия древесных пород, многие из которых с большой вероятностью вызваны потеплением климата. Климатические причины сокращения площадей установлены для ели и дуба, вероятны для ольхи черной и тополя (Замолодчиков, 2011б), вероятны также для сосны кедровой и пихты (Kharuk et al., 2021). Климатогенность увеличения площадей вероятна для каменной березы и древовидных ив (Замолодчиков, 2011б).

Традиционно за северную границу распространения сплошных лесов принимается изотерма июля $+10^{\circ}\text{C}$. Можно ожидать, что лесная растительность со временем придет в равновесное состояние с климатом, и новое положение данной границы реализуется (Румянцев и др., 2013). Прогнозируется неравномерное изменение продуктивности на Европейской территории России в первой половине XXI в. при повышении среднегодовой температуры на 1°C : до 65% в среднетаежных темнохвойных, 48% в южнотаежных темнохвойных и 37% в смешанных лесах, тогда как для северотаежных и лесотундровых экосистем изменение продуктивности будет незначительно (Голубятников, Денисенко, 2009).

С точки зрения сохранения биологического разнообразия, эффективного функционирования лесов и использования лесных ресурсов некоторые явления могут носить положительный характер, некоторые — отрицательный, некоторые будут амбивалентны, а для некоторых знак пока трудно определить.

Пожары относятся к явлениям, обусловленным климатическим фактором лишь отчасти, за счет увеличения длительности пожароопасного сезона, а также числа и продолжительности засух. Сухие грозы относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям, которых становится все больше в связи с нарастающей экстремальностью климата. Но в 70–90% случаев причина возгорания — результат прямого воздействия человека, несоблюдения правил пожарной безопасности (Второй оценочный доклад ..., 2014). Несоблюдение правил пожарной безопасности влечет различающиеся последствия в более холодном с равно-

мерными осадками климате прошлого и более теплом, с неравномерно выпадающими осадками, климате последних десятилетий.

В последние десятилетия отличительной чертой пожарных режимов лесной зоны стало наличие катастрофических (мега) пожаров (Швиденко и др., 2011). Такие многоочаговые и многодневные пожары охватывают территорию во многие десятки и сотни тысяч гектаров, характеризуются высокой интенсивностью, включают горение почвы и распространение пожаров на осушенные торфяники и болота в период засух. Средняя площадь природных пожаров в России в XXI в. независимыми системами дистанционного мониторинга оценивается в 2–12 млн га год⁻¹ (Швиденко и др., 2011; Giglio et al., 2013; Барталев и др., 2015; Ponomarev et al., 2015) — в среднем около 1% площади лесов, из которых примерно 2/3 приходится на лесные, а половина — на покрытые лесом земли. Сценарные оценки изменения пожарных режимов (Malevsky-Malevich et al., 2008; Швиденко, Щепашенко, 2013) предполагают двух-трехкратное увеличение территории с повышенным риском лесных пожаров к концу XXI в. (Швиденко и др., 2017).

Хотя над континентальной частью России отмечается уменьшение как средней скорости ветра, так и максимальных скоростей ветра и скоростей ветра более 15 м с^{-1} , наблюдается и ожидается в дальнейшем увеличение числа таких опасных гидрометеорологических явлений, как грозы, шквалы, смерчи (Второй оценочный доклад ..., 2014). Повреждение лесов ураганными ветрами остается одной из главных причин их гибели (Каткова, 2010).

Леса, ослабленные в результате экстремальных погодных явлений и направленных климатических трендов, становятся объектом нападения насекомых-вредителей, а также становятся в большей степени подверженными воздействию корневых патогенов и болезней. Отмечено продвижение северной и высотной границ очагового распространения сибирского шелкопряда в Центральной Сибири (Kharuk et al., 2017; Kharuk et al., 2020).

Деградация многолетней мерзлоты ведет к необратимому изменению гидрологического режима больших территорий и перестройке ландшафтов (Швиденко и др., 2017).

В исследовании сотрудников СПбНИИЛХ (Торжков и др., 2017) факторы уязвимости лесов к изменениям климата были объединены в четыре группы: лесные пожары, болезни леса, насекомые-вредители и экстремальные явления. В Канаде исследователи отнесли к основным последствиям изменений климата для лесов их гибель в результате катастрофических вспышек насекомых-вредителей, засухи и повышение риска пожаров, а также усыхание лесов на границе с пре-

рией (Шматков и др., 2019). Для северной и средней тайги европейского севера России к основным климатообусловленным рискам были отнесены следующие: возникновение лесных пожаров, массовое размножение вредителей и распространения болезней леса, проявления экстремальных погодных явлений (Тараканов и др., 2017) (до миллионов га лесов в год, повреждаемых ветровалью в Европейской части России (Крылов и др., 2012). Совокупность этих фактов и говорит о необходимости принимать срочные меры по адаптации лесов к изменениям климата.

Каждая древесная порода имеет свой адаптивный потенциал, который может быть определен как ее способность компенсаторно реагировать на изменение внешней среды путем модификации ее собственной генетической структуры и/или ее фенотипической представленности (Швиденко и др., 2017). Так как изменения температуры идут сейчас в России с беспрецедентной скоростью в $0,43^{\circ}\text{C}$ за 10 лет, то отсутствует возможность сопоставить последствия с аналогичными событиями в прошлом. Недостаточная изученность многих видов, их толерантности и способности к адаптации также является препятствием для моделирования возможных ситуаций и построения долгосрочных планов адаптации.

АДАПТАЦИЯ ЛЕСОВ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА

При современном уровне развития науки, технологий и при ограниченности ресурсов невозможно адаптироваться ко всем неблагоприятным воздействиям и на всей территории России. Всегда приходится выбирать наиболее ценные и уязвимые объекты, планировать очередность и этапность действий.

Зачастую адаптацию воспринимают как набор конкретных действий, исключительно ориентированных на реакцию на изменение климата, не применяющихся более ни для чего. Между тем адаптация представляет собой процесс. Он начинается с изучения климатических факторов воздействия и их последствий. Затем оценивается уязвимость объектов, находящихся в зоне действия климатических факторов, а также их способность к адаптации (естественная адаптация). Производится подсчет возможных ущербов или выгод. На следующем этапе происходит планирование конкретных мер, которые мы считаем приоритетными, выделяются ресурсы, и только затем проводятся непосредственные мероприятия. Иногда адаптационный эффект может быть отложенным, например, он начнет проявляться, только когда посаженный нами лес поднимется и начнет в достаточной степени затенять почву. Поэтому планирование должно быть заблаговременным. И завершает процесс адаптации оценка эффек-



Рис. 1. Стадии процесса адаптации к изменениям климата.

тивности, на основе которой могут вноситься изменения в первоначальный адаптационный план и планироваться новые мероприятия на следующем этапе (рис. 1).

В таблице 1 приводится базовый список климатических факторов, оказывающих существенное влияние на лесные экосистемы, подготовленный на основе отчетов и докладов Росгидромета (2008, 2014, 2020): температура, осадки, ветер, их сочетания. Затем они детализируются до уровня конкретных проявлений. Характер воздействий (отрицательный, положительный, нейтральный) оценен, исходя из сохранения биоразнообразия, эффективности функционирования лесов и сохранения лесных ресурсов. Далее нами была качественно оценена принципиальная возможность применения различных типов мер для адаптации лесов к изменениям климата.

Многие меры, которые будут эффективны для снижения ущерба от перечисленных явлений, разработаны уже десятки лет назад. Их описание можно найти в классических учебниках по лесоведению и лесоводству (Высоцкий, 1930; Нестеров, 1954; Мелехов, 1980; Белов, 1983; Луганский и др., 1996, 2010). В настоящее время подчеркивается важность сохранения биологического разнообразия лесов для их успешной естественной адаптации к изменениям климата (Vinceti et al., 2020).

Устойчивое управление лесами включает также меры адаптации к изменениям климата, чтобы обеспечить долгосрочные позитивные эффекты. В данной работе под *устойчивым управлением лесами* понимается “управление и использование лесов и лесных земель таким образом и на таком уровне, которые обеспечивают сохранение их биоразнообразия, продуктивности, регенерационных способностей, жизнеспособности и потенциала обеспечивать в настоящее время и в будущем соответствующие экологические, экономические и социальные функции на местном, национальном и

Таблица 1. Направления адаптации лесов к изменениям климата

Фактор воздействия	Проявление	Характер воздействия	Типы применения адаптации
Температура	Волна жары	Отрицательный	b, c
	Повышение среднегодовой температуры	Положительный на большей части территории	b, d, e
Осадки	Волна холода	Отрицательный	b, c
	Увеличение среднегодового количества	Положительный на большей части территории	d, e
	Уменьшение среднегодового количества	Отрицательный или нейтральный	b
	Уменьшение количества осадков в теплый сезон	Отрицательный	b, c
	Засуха	Отрицательный	b, c, e
	Экстремальные ливни	Отрицательный	b, c
	Экстремальные снегопады	Отрицательный	b, c
	Град	Отрицательный	b, c
	Ледяной дождь	Отрицательный	b, c
Сочетание волн тепла и засух	Масштабные пожары	Отрицательный	a, b, c
Ветер	Ветровалы и ветроломы	Отрицательный	a, b, c, e
	Суховеи	Отрицательный	b, c

Типы применения адаптации: а — предотвращение ущерба; b — снижение ущерба; с — предотвратить или снизить ущерб невозможно, адаптация сводится к готовности ликвидировать последствия; d — использование новых благоприятных возможностей; e — естественная адаптация лесов.

глобальном уровнях, причем это управление и использование не должно наносить ущерб другим экосистемам” (Основы устойчивого ..., 2014).

Понятие адаптации к изменениям климата включено в Приложение 21 к Типовой форме лесного плана для Субъекта Российской Федерации “Планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов” (Приказ ..., 2017). Однако анализ фактического заполнения лесных планов показывает недооценку серьезности последствий изменений климата, необходимости безотлагательной адаптации, а также масштаб и особенности лесов России (Leskinen et al., 2020).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОВ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ИНЫХ ОБЪЕКТОВ

Адаптация к изменениям климата на основе экосистем (ecosystem-based adaptation — EbA, реже — адаптация с позиций экосистем) — это “использование биоразнообразия и экосистемных функций и услуг в рамках общей стратегии адаптации для улучшения благосостояния общества, в том числе коренных народов и местных общин, а также для того, чтобы помочь людям адаптироваться к неблагоприятным последствиям изменения

климата” (Конвенция о биологическом разнообразии, 2018).

Для адаптации к изменениям климата используются две группы экосистемных функций, предоставляемых лесами: защитные (для защиты от неблагоприятных погодноклиматических явлений и их последствий, включая наводнения, почвенную эрозию и др.) и регулирующие (для создания комфортного микроклимата, поддержания гидрологического режима и др.) (табл. 2). Увеличение количества пресной воды в водоемах в межень можно отнести также к производящим.

Имеется много публикаций, устанавливающих положительное влияние лесистости на выпадение осадков. В европейской части Российской Федерации на каждые 10% лесистости увеличение осадков составляет 8–9 мм (Рахманов, 1971, 1981, 1984), а в Западной Сибири благодаря более интенсивной задержке снега лесами — в 12–13 мм (Воронков, 1988). В горных районах увеличение осадков при росте лесистости на 10% может достигать 30% (Крестовский, 1986). В более современных работах отмечается, что в зависимости от климатических и географических факторов гидрологической роли лесов свойственна неопределенность (Онучин, 2015). Там не менее, при удачном сочетании этих факторов гидрологическая роль лесов позитивна.

Таблица 2. Экосистемные функции лесов, используемые для адаптации иных объектов к изменениям климата

Фактор воздействия	Защитная функция	Положительный эффект
Температура	Защита от волн жары	Понижение температуры летом Сглаживание хода суточных температур
Ветер	Защита от волн холода Защита от сильных ветров	Повышение температуры зимой Снижение скорости ветра
Деградация ландшафтов в результате климатических явлений	Защита от пыльных бурь Защита от эрозии Защита от селей	Закрепление почвы и предотвращение выдувания Закрепление почвы и предотвращение размывания Закрепление почвы и предотвращение размывания
Обильные осадки	Защита от паводков и наводнений	Перевод поверхностного стока в подземный
Быстрое таяние снега	Защита от наводнений	Замедление процесса таяния в тени деревьев
Засуха	Поддержание гидрологического режима	Предотвращение пересыхания почвы, сохранение грунтовых вод

Способность лесных насаждений благоприятно влиять на гидрологический режим и температурные условия уже длительное время используется в аридных регионах, в первую очередь при создании защитных лесных полос. Еще в конце XIX в. устройство лесных полос, а также проведение иных агролесомелиоративных мероприятий осуществлялось выдающимися исследователями В.В. Докучаевым и Н.К. Генко (Розенберг и др., 2018). В 1930-е гг. на землях колхозов началось устройство полезащитных полос, прерванное в военный период (Колданов, 1967). В 1948 г. было принято постановление “О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР”, получившая народное название “Сталинский план преобразования природы”. Общая протяженность созданных крупных государственных полезащитных полос превысила 5,3 тыс. км, в этих полосах было посажено 2,3 млн. га леса (Розенберг и др., 2018). Значительная часть этих насаждений сохранилась до нынешнего времени. Особо отметим, что в плане речь шла не только о типовых узкорядных полезащитных полосах, но и более массивных вариантах лесных насаждений. Таким образом, план можно рассматривать как крупномасштабную попытку адаптации к засушливому климату с помощью лесомелиорации. Не исключено, что при отсутствии достаточных успехов в сокращении антропогенных выбросов парниковых газов, а также развитии механизмов финансирования крупномасштабной деятельности в области землепользования лесомелиорация аридных территорий юга Европейской части России снова может стать актуальной.

Лес способен изменять микроклимат под своим пологом, значительно смягчая его: создаются

более влажные и прохладные условия летом, с меньшей амплитудой суточной и годовой температуры (Zellweger et al., 2020). Защита от волн жары, особенно в условиях городских “островов тепла”, является актуальной задачей на большей части территории России. Хотя лесной покров не может прекратить или предотвратить волну жары как опасное метеорологическое явление, и ее последствия для леса как экосистемы также являются тяжелыми, свойство лесов создавать свой микроклимат под пологом уменьшает негативные последствия для находящихся рядом объектов. Отмечено, что температура воздуха в жилой зоне города на 2,4–2,6°C выше, чем на территории лесопарков. Городские парки смягчают излишнюю сухость воздуха (относительная влажность воздуха на территориях парков на 1,9–3,7% выше). Также, наименьшая скорость ветра наблюдается именно в парковой зоне города (Алябышева, 2019).

В городах рекомендуется высаживать полосы вечнозеленых насаждений для защиты объектов с западной, северо-западной, северной и северо-восточной сторон, а с восточной, юго-восточной, южной и юго-западной сторон — листопадные породы деревьев, которые в летнее время дополнительно защищают от действия прямых солнечных лучей и перегрева, а зимой не препятствуют инсоляции жилых помещений (Попова и др., 2019).

Лесные массивы способны эффективно поддерживать собственный микроклимат начиная с определенного размера участка: его ширина должна быть не менее 30 м (Oldén et al., 2019).

Влияние леса на гидрологический режим рек проявляется в трех аспектах: воздействие на величину испарения воды, на поверхностный и внутренний стоки, на водный баланс в целом (Гидрологическая роль ..., 1989). Лесные почвы отличаются большой водопроницаемостью, что способствует переводу осадков во внутриводосборный и грунто-

вый сток. Важной особенностью лесной подстилки является способность накапливать запасы воды (Лоскутов и др., 2013). Лесистость водосборов оказывает решающее влияние и на внутригодовую зарегулированность речного стока. Наибольший месячный сток рек Среднего Урала Илыча, Лозьвы и др., залесенность водосборов которых достигает 80–90%, превышает наименьший месячный сток в 20–25 раз, реки же лесостепного Зауралья Увелька, Уй и др., бассейны которых почти безлесны, имеют максимальный месячный сток в 50–100 раз больше минимального (Луганский, 2010). Согласно А.В. Побединскому (1979), доля стока рек в половодье с бассейнами, обладающими высокой лесистостью, составляет 1/3 годового объема, а с малолесных и безлесных бассейнов — 2/3 и даже до 90%.

На безлесных площадях в центре Восточно-Европейской равнины до 65% от годовой суммы остатков поступает в реки с поверхностным стоком. 20%-я залесенность территории позволяет уменьшить поверхностный сток до 14%, полная залесенность территории снижает поверхностный сток до 5%. (Лихоманов, 2012). По данным П.Ф. Идзона (1980), снижение лесистости в европейской части Российской Федерации к началу 20-х гг. XX в. по сравнению с XIX в. привело к снижению стока на 5–50% в бассейнах рек Днепра, Верхней Волги и Вятки.

Снижение стока рек сопровождается усыханием болот, как накопителей и хранителей влаги, сокращением числа ручьев, родников (Луганский, 2010).

Выступая в роли почвозащитного фактора, леса препятствуют смыву и размыву почвы и грунтов талыми и дождевыми водами, защищают почвы от дефляции, закрепляют подвижные пески. Сведение лесов сопровождается резким усилением процессов почвенного смыва, обостряется заиливание рек, водохранилищ, прудов (Лихоманов, 2012).

В горных районах с обильными и интенсивными осадками основным средством предупреждения или ослабления последствий селей является посадка леса на горных склонах для закрепления почвогрунтов и оптимизации микроклимата в зонах повышенной угрозы опасных природных явлений (Вагапова, 2019).

В сельскохозяйственной мелиорации многие годы используются лесополосы для снижения скорости ветра и увеличения снегозапасов на полях (Обидин, 2012; Парамонов, 2013).

В условиях современных изменений климата значимость адаптационных экосистемных функций лесов возрастает многократно, т.к. вносит вклад в минимизацию ущерба от стихийных бедствий, обеспечение продовольственной и экологической безопасности значительных территорий.

ЗАЩИТНЫЕ ЛЕСА И ОПИСАНИЕ АДАПТАЦИИ В ЛЕСНОМ КОДЕКСЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Важность лесов как защитного механизма от неблагоприятных природных явлений была осознана достаточно давно. В России законодательно для поддержания гидрологического режима рек запрет на сведение лесов был наложен уже в 1701 г., а в 1888 г. “Положением о сбережении лесов” была учреждена категория защитных лесов, к которым относились водоохранные и противоэрозионные леса (Кобяков и др., 2013).

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации (Лесной кодекс ..., 2006): “к защитным лесам относятся леса, которые являются природными объектами, имеющими особо ценное значение, и в отношении которых устанавливается особый правовой режим использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов”. Выделяется пять категорий защитных лесов: 1) леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях; 2) леса, расположенные в водоохранных зонах; 3) леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов; 4) ценные леса; 5) городские леса. Кроме того, в Лесном кодексе Российской Федерации говорится о возможности выделения особо защитных участков лесов в пределах территории защитных, эксплуатационных и резервных.

Напрямую выделение защитных лесов или особо защитных участков лесов для адаптации к изменениям климата в Лесном кодексе Российской Федерации не указано, упоминание климаторегулирующей функции лесов есть только в лесотундровых лесах и ленточных борах. Частично могут рассматриваться как адаптационные из защитных лесов: леса, расположенные в водоохранных зонах (поддержание гидрологического режима и защита от наводнений); леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов (защита от сильных ветров, наводнений и т.д.); городские леса (защита от волн жары, создание комфортного микроклимата); ценные леса (ряд климаторегулирующих и защитных функций). Следует также упомянуть: 1) государственные защитные лесные полосы; 2) противоэрозионные леса; 3) пустынные, полупустынные леса; 4) лесостепные леса; 5) лесотундровые леса; 6) горные леса; 10) ленточные боры; 11) запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов (Лесной кодекс ..., 2006).

К особо защитным участкам лесов относятся: берегозащитные, почвозащитные участки лесов, расположенные вдоль водных объектов, склоны оврагов (защита от эрозии, наводнений, поддержание гидрологического режима), а также опушки лесов, граничащие с безлесными пространствами (поддержание микроклимата для сохране-

ния лесных экосистем на границе произрастания, защита от сильных ветров).

Сохранение, восстановление и адаптация лесов к изменениям климата сейчас рассматривается как метод адаптации и снижения ущерба от стихийных бедствий для крупных районов: ландшафтов, бассейнов рек и т.д. При этом леса составляют каркас их экологической устойчивости (Spathelf et al., 2018).

Назрела необходимость введения новой категории защитных лесов и особо защитных участков: адаптационные леса — леса, выполняющие роль защиты от неблагоприятных погодноклиматических явлений и их последствий. Необходимо регулирующих и защитных расстояния, необходимые для защиты объектов. Стратегия развития лесного хозяйства должна учитывать необходимость в лесах для адаптации.

Авторы полностью разделяют мнение: “Разработка стратегии адаптации лесного хозяйства к изменению климата становится насущной необходимостью, а не данью международным обязательствам России по РКК ООН” (Замолдчиков, Краев, 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лес не только является ценным ресурсом страны, но также играет значительную роль в системе действий по ограничению неблагоприятных изменений климата. Помимо экосистемных функций по поглощению углерода для смягчения изменений климата, леса предоставляют множество экосистемных регулирующих и защитных функций, важных с точки зрения адаптации к изменениям климата. Как природная система, лес сам подвержен изменениям климата и нуждается в адаптации. В адаптации лесов и лесного хозяйства к изменениям климата большинство методов уже разработаны и известны. Меняется условие их применения: при планировании используются сценарные оценки будущих изменений климата для данного региона. Учитывая важность защитных лесов для адаптации к изменениям климата, особенно для предотвращения и снижения риска стихийных бедствий, необходимо пересмотреть категории защитных лесов, дополнить их адаптационными лесами и увеличить занимаемые ими территории. Одновременно леса могут использоваться для адаптации иных объектов к изменениям климата. Существуют методики ведения лесного хозяйства, которые позволяют получать не только устойчивую прибыль, но также усиливать потенциал лесов по смягчению изменений климата и адаптационные экосистемные услуги. Стратегия развития лесного хозяйства должна учитывать необходимость в лесах как объекта адаптации и средства адаптации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алябьева Е.А. Анализ параметров микроклимата в различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы // Современные проблемы медицины и естественных наук. Сб. ст. Междунар. науч. конф. Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2019. С. 264–265.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 203–221.
- Белов С.В. Лесоводство: учебное пособие для вузов по специальности “Лесное хозяйство”. М.: Лесная промышленность, 1983. 351 с.
- Биомы России. Карта. М.: 1 : 7500000 / Под ред. Огуреевой Г.Н. М.: WWF России, 2018.
- Боровичёв Е.А., Королёва Н.Е., Кожин М.Н., Зацаринный И.В., Химич Ю.Р., Петрова О.В., Сенников А.Н., Костина В.А. Наземные экосистемы Мурманской области под воздействием человеческой деятельности и изменений климата // Природа и коренное население Арктики под влиянием изменения климата и индустриального освоения: Мурманская область. М.: ИД “Графит”, 2020. С. 18–41.
- Боуэн Д. Четвертичная геология. Стратиграфическая основа междисциплинарных исследований: пер. с англ. М.: Мир, 1981. 272 с.
- Букварева Е., Замолдчиков Д., Грюневальд К. Экосистемные услуги ландшафтов России // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в 5 томах). Том 1. Ландшафты в XXI в.: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований. М.: ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 57–61.
- Ваганова А.Б. Влияние стихийных природных процессов на структуру и функционирование ландшафта // Актуальные проблемы природопользования и природообустройства. Сб. статей II Междунар. науч.-пр. конф. Пенза: Пензенский гос. аграрный ун-т, 2019. С. 71–74.
- Воронков Н.А. Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 285 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1006 с.
- Высоцкий Г.Н. Учение о лесной пертиненции: курс лекций. Л.: Лесное хоз-во и лесная пром-сть, 1930. 131 с.
- Гидрологическая роль лесных экосистем / Отв. ред. Снытко В.А. Новосибирск: Наука, 1989. 166 с.
- Гинзбург В.А., Кострыкин С.В., Ревокатова А.П., Рябошапко А.Г., Пастухова А.С., Коротков В.Н., Полумиева П.Д. Короткоживущие климатообразующие аэрозоли от лесных пожаров на территории России: модельные оценки вероятности переноса в Арктику и возможное влияние на климат региона // Фундаментальная и прикладная климатология. 2020. Т. 1. С. 21–41.
- Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. Влияние климатических изменений на растительный покров Европей-

- ской России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2009. № 2. С. 57–68.
- Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург; Саратов: Амирит, 2020. 120 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2020. 79 с.
- Замолотчиков Д.Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. 2011а. № 4. С. 15–22.
- Замолотчиков Д.Г. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда // Успехи современной биологии. 2011б. Т. 131. № 4. С. 382–392.
- Замолотчиков Д., Краев Г. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование. 2016. № 4(48). С. 23–31.
- Зиновьева А.Е. К вопросу классификации экосистемных услуг // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2020. Т. 56. № 1. С. 5–13.
- Идзон П.Ф. Лес и водные ресурсы. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 153 с.
- Им С.Т., Харук В.И., Ли В.Г. Миграция северной границы вечнозеленых хвойных древостоев в Сибири в XXI столетии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 176–187.
- Исаков С.В. Определение динамики изменения дифференциального альbedo территории // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: Сб. науч. тр. Пермь, 2013. Вып. 6. С. 72–77.
- Кобяков К., Лепешкин Е., Титова С. Защитные леса: получится ли их сохранить? // Устойчивое лесопользование. 2013. № 1(34). С. 34–44.
- Колданов В.Я. Степное лесоразведение. М.: Лесная пром-сть, 1967. 222 с.
- Конвенция о биологическом разнообразии (КБР). Рекомендация, принятая вспомогательным органом по научным, техническим и технологическим консультациям. П. 22/7. Биоразнообразии и изменение климата: подходы с позиций экосистем к адаптации к изменению климата и уменьшению опасности стихийных бедствий. Двадцать второе совещание Монреаль, Канада, 2–7 июля 2018 г. Пункт 9 повестки дня. Электронный ресурс. URL: <https://www.cbd.int/doc/recommendations/sbstta-22/sbstta-22-rec-07-ru.pdf> (дата обращения 27 августа 2020 г.).
- Коротенко В., Бердин В., Грачёва Е., Добролюбова Ю., Замолотчиков Д., Константинов П., Рыжова Н., Смирнова Е., Кириленко А., Насырова А. Климатическая шкатулка: Пособие для школьников по теме “Изменение климата”. М.: Программа развития ООН в России, 2014. 254 с.
- Кравцова В.И., Лошкарева А.Р. Исследование северной границы леса по космическим снимкам разного разрешения // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2010. № 6. С. 49–57.
- Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановление лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 118 с.
- Крылов А.М., Малахова Е.Г., Владимиров Н.А. Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 200. С. 197–207.
- Лесной кодекс Российской Федерации. Утвержден 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 24.04.2020 г.).
- Лихоманов О.В., Бубнов Д.В. Денежная оценка средоохранительных функций леса (на примере лесов и лесных насаждений Волгоградской области) // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2012. № 2. С. 214–220.
- Логинов А.А., Лыков И.Н., Васильева М.А. Укрупненная оценка стоимости экосистемных услуг леса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3. С. 120–124.
- Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Ведрова Э.Ф., Анискина А.А., Мухоморова Л.В. Гигроскопические свойства подстилки хвойных и лиственных насаждений Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 2013. Т. 20. № 5. С. 695–702.
- Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А. Лесоведение. Екатеринбург: Уральская гос. лесотехн. академия, 1996. 373 с.
- Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение: учебн. пособие. Екатеринбург: Уральский гос. лесотехн. ун-т., 2010. 432 с.
- Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 460 с.
- Неелова Л.О. Параметризация альbedo подстилающей поверхности в гидродинамических моделях атмосферной циркуляции // Математика. Компьютер. Образование. Сб. трудов XIV Междунар. конф. Ижевск: Научно-издательский центр “Регулярная и хаотическая динамика”, 2007. Т. 2. С. 249–253.
- Нестеров В.Г. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 656 с.
- Обидин А.А. Текущий прирост сосновых лесополос и снегонакопление // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. Т. 96. № 10. С. 59–61.
- Онуцин А.А. Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов // Сибирский лесной журнал. 2015. № 2. С. 41–54.
- Основы устойчивого лесопользования / М.Л. Карпачевский, В.К. Тепляков, Т.О. Яницкая, А.Ю. Ярошенко. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. 266 с.
- Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. 515 с.
- Парамонов Е.Г. Лесополосы и увлажнение межполосных полей // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 11(109). С. 52–54.
- Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. М.: Лесная промышленность, 1979. 176 с.
- Попова И.В., Бурак Е.Э., Воробьева Ю.А. Оценка роли зеленых насаждений в формировании комфортных

- микроклиматических условий в летний период // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2019. № 2. С. 47–55.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 20 декабря 2017 г. № 692 “Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений”. Приложение 1. Типовая форма лесного плана субъекта Российской Федерации. Приложение 21. Планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов.
- Рахманов В.В. Влияние лесов на водность в бассейне верхней Волги // Труды Гидрометцентра СССР. 1971. № 88. 175 с.
- Рахманов В.В. Гидроклиматическая роль лесов. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 240 с.
- Рахманов В.В. Лесная гидрология // Итоги науки и техники. Сер. Лесоведение и лесоводство. М.: ВИНТИ, 1981. Т. 3. 182 с.
- Розенберг Г.С., Саксонов С.В., Сенатор С.А. Запоздалый опыт экологических экспертиз глобальных планов преобразования природы в России // Вопросы степеведения. 2018. № 14. С. 15–35.
- Романова Э.П. Антропогенная трансформация ландшафтов Европы (вне СНГ). Дис. ... д-ра географ. наук в форме науч. докл.: 11.00.01. М., 1998. 74 с.
- Румянцев В.Ю., Малхазова С.М., Леонова Н.Б., Солдатов М.С. Прогноз возможных изменений зональных границ растительности Европейской России и Западной Сибири в связи с глобальным потеплением // Сибирский экологический журн. 2013. Т. 4. С. 449–458.
- Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А. Выбросы черного углерода от природных пожаров на землях лесного фонда Российской Федерации в 2007–2012 гг. // Метеорология и гидрология. 2015. № 7. С. 5–17.
- Тараканов А.М., Сурина Е.А., Сеньков А.О. Лесохозяйственные мероприятия по адаптации растительности к изменению климата // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 47. С. 67–71.
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Тертицкий Г.М. “Позеленение” тундры как драйвер современной динамики Арктической биоты // Арктика: экология и экономика. 2018. № 2(30). С. 31–44.
- Торжков И.О., Королева Т.С., Константинов А.В., Кушнир Е.А. Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 4. С. 64–77.
- Хоссейн А. Стоимостная оценка средообразующих функций лесов // Труды БГТУ. 2017. Серия 5. № 1. С. 329–332.
- Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максюттов Ш.Ш., МкКаллум И., Лакида И.П. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Доклады Академии Наук. 2011. Т. 441. № 4. С. 544–548.
- Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // Сибирский лесной журн. 2017. № 6. С. 3–25.
- Шматков Н., Григорьев А., Луговая Д. Лесной сектор Канады // ЛесПромИнформ. 2019. № 4(142). <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5361>
- Frost G.V., Epstein H.E. Tall shrub and tree expansion in Siberian tundra ecotones since the 1960s // Global change biology, 2014. V. 20. № 4. P. 1264–1277.
- Giglio L., Randerson J.T., van der Werf G.R. Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4) // J. Geophysical Research. Biogeosciences. 2013. V. 118. P. 317–328.
- IPCC 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1032 p.
- IPCC 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- IPCC 2019. Climate Change, Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. URL: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>
- Kharuk V.I., Im S.T., Petrov I.A., Dvinskaya M.L., Shushpanov A.S., Golyukov A.S. Climate-driven conifer mortality in Siberia // Global Ecology and Biogeography. 2021. V. 30. № 2. P. 543–556.
- Kharuk V.I., Im S.T., Ranson K.J., Yagunov M.N. Climate-induced northerly expansion of Siberian Silkmoth Range // Forests. 2017. V. 8. № 8. Article 301.
- Kharuk V.I., Im S.T., Soldatov V.V. Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains // J. Mountain Science. 2020. V. 17. № 8. P. 1891–1900.
- Kharuk V.I., Ranson K.J., Im S.T., Vdovin A.S. Spatial distribution and temporal dynamics of high elevation forest stands in southern Siberia // Global Ecology and Biogeography J. 2010. V. 19. P. 822–830.
- Kharuk V.I., Ranson K.J., Petrov I.A., Dvinskaya M.L., Im S.T., Golyukov A.S. Larch (*Larix dahurica* Turcz.) growth response to climate change in the Siberian permafrost zone // Regional Environmental Change. 2019. V. 19. № 1. P. 233–243.
- Kuemmerle T., Kaplan J.O., Prishchepov A.V., Rylsky I., Chaskovskyy O., Tikunov V.S., Müller D. Forest transitions in Eastern Europe and their effects on carbon budgets // Global Change Biology. 2015. V. 21. № 8. P. 3049–3061.
- Leskinen P., Lindner M., Verkerk P.J., Nabuurs G.J., Van Brusselen J., Kulikova E., Hassegawa M., Lerink B. (eds.). Russian Forests and Climate Change. What Science Can Tell Us 11. Joensuu: European Forest Institute, 2020. 140 p.

Malevsky-Malevich S.P., Molkentin E.K., Nadyozhina E.D., Shklyarevich O.B. An assessment of potential change in wildfire activity in the Russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century // *Climatic Change*. 2008. V. 86. P. 463–474.
<https://doi.org/10.1007/s10584-007-9295-7>

Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being / Reid W.V., Mooney H.A., Cropper A., Capistrano D., Carpenter S.R., Chopra K. // *Synthesis Report*. Washington DC: Island Press, 2005. 160 p.

Oldén A., Peura M., Saine S., Kotiaho J.S., Halme P. The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate // *Forest Ecology and Management*. 2019. V. 453. Paper № 117623. 10 p.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117623>

Ponomarev E.I., Ivanov V., Korshunov N. Chapter 10 – System of Wildfires Monitoring in Russia // *Wildfire Hazards, Risks and Disasters*. Elsevier, 2015. P. 187–205.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410434-1.00010>

Spathelf P., Stanturf J., Kleine M., Jandl R., Chiatante D., Bolte A. Adaptive measures: integrating adaptive forest

management and forest landscape restoration // *Annals of Forest Science*. 2018. V. 75. № 2. 6 p.

Vinceti B., Manica M., Lauridsen N., Verkerk P.J., Lindner M., Fady B. Managing forest genetic resources as a strategy to adapt forests to climate change: perceptions of European forest owners and managers // *European J. Forest Research*. 2020. V. 139. № 6. P. 1107–1119.

Zellweger F., De Frenne P., Lenoir J., Vangansbeke P., Verheyen K., Bernhardt-Römermann M., Baeten L., Hédal R., Berki I., Brunet J., Van Calster H., Chudomelová M., Decocq G., Dirnböck T., Durak T., Heinken T., Jaroszewicz B., Kopecký M., Máliš F., Macek M., Marek M., Naaf T., Nagel T.A., Ortman-Ajkai A., Petřík P., Piech R., Reczyńska K., Schmidt W., Standovář T., Świerkosz K., Teleki B., Vild O., Wulf M., Coomes D. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming // *Science*. 2020. V. 368(6492). P. 772–775.

Zhu Z., Piao S., Myneni R.B., Huang M., Zeng Z., Canadell J.G., Ciais P., Sitch S., Friedlingstein P., Arneeth A., Cao C., Cheng L., Kato E., Koven C., Li Y., Lian X., Liu Y., Liu R., Mao J., Pan Y., Peng S., Peñuelas J., Poulter B., Pugh T.A.M., Stocker B.D., Viovy N., Wang X., Wang Y., Xiao Z., Yang H., Zaehle S., Zeng N. Greening of the Earth and its drivers // *Nature Climate Change*. 2016. V. 6. № 8. P. 791–795.

A Role of Forests in Natural Systems Adaptation to Climate Change

O. N. Lipka^{1, *}, M. D. Korzukhin¹, D. G. Zamolodchikov^{1, 2}, N. Yu. Dobrolyubov¹, S. V. Krylenko¹,
 A. Yu. Bogdanovich¹, and S. M. Semenov¹

¹*Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Glebovskaya str., 20B, Moscow, 107258 Russia*

²*Center for Ecology and Productivity of Forests of the Russian Academy of Sciences,
 Profsouznaya Str., 84/32, Moscow, 117997 Russia*

*E-mail: olipka@mail.ru

A literature review was conducted on the impacts of climate change on Russian forests and their adaptation. It is well documented that climate change significantly affects forest ecosystems in Russia. Negative effects prevail, although positive ones have also been noted. The article analyzes practical opportunity for adaptation of forests using the categories of impacts of typical hydrometeorological phenomena and their complexes, as well as the potential for natural adaptation. The character of impacts (i.e., negative, positive, or neutral) is assessed based on the priorities of biodiversity conservation, efficiency of forest functioning and conservation of forest resources. The main aim of adaptation measures is to prevent degradation of forest stands and decrease in forest productivity in Russia over significant areas. At the same time, forests can be used for the adaptation of other objects to climate change, since their protective and regulatory features may help offset adverse weather and climate impacts. The types of adaptation could be categorized as follows: prevention of damage; reduction of losses; preparedness for recovery; using new opportunities; involvement of natural ecosystem adaptation (forest self-adaptation). Forests are effective for maintaining the hydrological regime, protecting against floods, reducing wind speed, as well as protecting against heat waves, erosion and dust storms. Effective use of forests as an adaptation measure requires certain care on their ability to provide the necessary ecosystem services, that is an element of forest adaptation *per se*. The Forest Code does not provide any direct references on issues of adaptation to climate change. However, some categories of protective forests can provide respective ecosystem services. It is expedient to constitute a new category of protective forests, namely 'adaptation forests'. Sustainable forest management can contribute to both increasing the mitigation and adaptation capacity of forest ecosystems.

Keywords: *Climate change, forest ecosystems, forest management, adaptation of forests, adaptation forests.*

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the State contract with the Institute of Global Climate and Ecology № AAAA-A20-120070990079-6 and with the Center for Ecology and Productivity of Forests № AAAA-A18-118052590019-7.

REFERENCES

- Alyabysheva E.A. Analiz parametrov mikroklimata v razlichnykh funktsional'nykh zonakh g. Ioshkar-Oly (Analysis of microclimate parameters in various functional zones of Yoshkar-Ola), *Sovremennye problemy meditsiny i estestvennykh nauk* (Modern problems of medicine and natural sciences), Book of abstracts of International Scientific Conference, Yoshkar-Ola: Mariiskii gosudarstvennyi universitet, 2019, pp. 264–265.
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A. Sostoyanie i perspektivy razvitiya metodov sputnikovogo kartografirovaniya rastitel'nogo pokrova Rossii (Current state and development prospects of satellite mapping methods of Russia's vegetation cover), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 203–221.
- Belov S.V., *Lesovodstvo* (Silviculture), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1983, 351 p.
- Biomy Rossii*. Karta. M.: 1 : 7 500 000 (Biomes of Russia. Map. M.: 1 : 7500000), Moscow: WWF Rossii, 2018.
- Borovichev E.A., Koroleva N.E., Kozhin M.N., Zatsarinnyi I.V., Khimich Yu.R., Petrova O.V., Sennikov A.N., Kostina V.A., Nazemnye ekosistemy Murmanskoi oblasti pod vozdeistviem chelovecheskoi deyatel'nosti i izmenenii klimata (Terrestrial ecosystems of the Murmansk region under the influence of human activity and climate change), In: *Priroda i korennoe naselenie Arktiki pod vliyaniem izmeneniya klimata i industrial'nogo osvoeniya: Murmanskaya oblast'* (Nature and indigenous population of the Arctic under the influence of climate change and industrial development: Murmansk region), Moscow: ID "Grafitt", 2020, pp. 18–41.
- Bouen D., *Chetvertichnaya geologiya. Stratigraficheskaya osnova mezhdistsiplinarnykh issledovaniy* (Quaternary geology. A stratigraphic framework for multidisciplinary work), Moscow: Mir, 1981, 272 p.
- Bukhareva E., Zamolodchikov D., Gryuneval'd K., Ekosistemnye uslugi landshaftov Rossii (Ecosystem services of Russia landscapes), In: *Novye metody i rezul'taty issledovaniy landshaftov v Evrope, Tsentral'noi Azii i Sibiri* (New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia), Moscow: VNIi agrokhimii imeni D.N. Pryanishnikova, 2018, Vol. 1, pp. 57–61.
- Doklad o nauchno-metodicheskikh osnovakh dlya razrabotki strategii adaptatsii k izmeneniyam klimata v Rossiiskoi Federatsii (v oblasti kompetentsii Rosgidrometa)*, (Report on the scientific and methodological bases for the development of strategies for adaptation to climate change in the Russian Federation (in the field of competence of Roshydromet)), Saint Petersburg, Saratov: Amirit, 2020, 120 p.
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii*, (A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2020), Moscow: Rosgidromet, 2020, 79 p.
- Frost G.V., Epstein, H.E., Tall shrub and tree expansion in Siberian tundra ecotones since the 1960s, *Global change biology*, 2014, Vol. 20, No. 4, pp. 1264–1277.
- Gidrologicheskaya rol' lesnykh ekosistem* (Hydrological role of forest ecosystems), Novosibirsk: Nauka, 1989, 166 p.
- Giglio L., Randerson J.T., van der Werf G.R., Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4), *J. Geophysical Research. Biogeosciences*, 2013, Vol. 118, pp. 317–328.
- Ginzburg V.A., Kostykin S.V., Revokatova A.P., Ryaboshapko A.G., Pastukhova A.S., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Korotkozhivushchie klimatoobrazuyushchie aerizoly ot lesnykh pozharov na territorii Rossii: model'nye otsenki veroyatnosti perenosa v Arktiku i vozmozhnoe vliyaniye na klimat regiona (The probability of transfer to the Arctic of short-lived climate-forming aerosols from model forest fires in Russia and their possible impact on climate), *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2020, Vol. 1, pp. 21–41.
- Golubyatnikov L.L., Denisenko E.A., Vliyaniye klimaticheskikh izmenenii na rastitel'nyi pokrov Evropeiskoi Rossii (Influence of climate changes on the vegetation of European Russia), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2009, No. 2, pp. 57–68.
- Idzon P.F., *Les i vodnye resursy* (The forest and the water resources), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980, 153 p.
- Im S.T., Kharuk V.I., Li V.G., Migratsiya severnoi granitsy vechnozelenykh khvoynykh drevostoev v Sibiri v XXI stoletii (Migration of the northern evergreen needleleaf timberline in Siberia in the 21st century), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 1, pp. 176–187.
- IPCC 2001, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, 1032 p.
- IPCC 2014, Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- IPCC 2019, Climate Change, Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>
- Isakov S.V., Opredeleniye dinamiki izmeneniya differentsial'nogo al'bido territorii (Determination of the dynamics of changes in the differential albedo of the territory), *Geoinformatsionnoe obespecheniye prostranstvennogo razvitiya Permskogo kraya* (Geoinformation support of the spatial development of the Perm Territory), Book of abstracts, Perm: Perm. gos. nats. issled. un-t, Vol. 6, pp. 72–77.
- Karpachevskii M.L., Teplyakov V.K., Yanitskaya T.O., Yaroshenko A.Y., *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya* (Fundamentals of sustainable management of forests), Moscow: Vsemirnyi fond dikoi prirody (WWF), 2014, 266 p.
- Kharuk V.I., Im S.T., Petrov I.A., Dvinskaya M.L., Shushpanov A.S., Golyukov A.S., Climate-driven conifer mortality in Siberia, *Global Ecology and Biogeography*, 2021, Vol. 30, No. 2, pp. 543–556.

- Kharuk V.I., Im S.T., Ranson K.J., Yagunov M.N., Climate-induced northerly expansion of Siberian Silkmouth Range, *Forests*, 2017, Vol. 8, No. 8, Article 301.
- Kharuk V.I., Im S.T., Soldatov V.V., Siberian silkmouth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains, *J. Mountain Science*, 2020, Vol. 17, No. 8, pp. 1891–1900.
- Kharuk V.I., Ranson K.J., Im S.T., Vdovin A.S., Spatial distribution and temporal dynamics of high elevation forest stands in southern Siberia, *Global Ecology and Biogeography J.*, 2010, Vol. 19, pp. 822–830.
- Kharuk V.I., Ranson K.J., Petrov I.A., Dvinskaya M.L., Im S.T., Golyukov A.S., Larch (*Larix dahurica* Turcz) growth response to climate change in the Siberian permafrost zone, *Regional Environmental Change*, 2019, Vol. 19, No. 1, pp. 233–243.
- Khossein A., Stoimostnaya otsenka sredooobrazuyushchikh funktsii lesov (Assessment of ecological functions forest), *Trudy BGTU*, 2017, No. № 1, S. 5, pp. 329–332.
- Kobyakov K., Lepeshkin E., Titova S., Zashchitnye lesa: poluchitsya li ikh sokhranit'? (Can we save protective forests?), *Ustoichivoe lesopol'zovanie*, 2013, No. 1(34), pp. 34–44.
- Koldanov V.Y., *Stepnoe lesorazvedenie* (Planting of forests in steppe), Moscow: Lesn. prom-st', 1967, 222 p.
- Konventsia o biologicheskom raznoobrazhchii (KBR), Rekomendatsiya, prinyataya vspomogatel'nym organom po nauchnym, tekhnicheskim i tekhnologicheskim konsul'tatsiyam (Convention on Biological Diversity, Recommendation adopted by the subsidiary body on scientific, technical and technological advice), Available at: <https://www.cbd.int/doc/recommendations/sbstta-22/sbstta-22-rec-07-ru.pdf> (August 27, 2020).
- Korotenko V., Berdin V., Gracheva E., Dobrolyubova Y., Zamolodchikov D., Konstantinov P., Ryzhova N., Smirnova E., Kirilenko A., Nasyrova A., *Klimaticheskaya shkatulka* (Climate box), Moscow: Programma razvitiya OON v Rossii, 2014, 254 p.
- Kravtsova V.I., Loshkareva A.R., Issledovanie severnoi granitsy lesa po kosmicheskim snirkam raznogo razresheniya (Study of the northern forest line using space imagery of different resolutions), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2010, No. 6, pp. 49–57.
- Krestovskii O.I., *Vliyanie vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek* (Effects of cutting and reforestation on water content in rivers), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 118 p.
- Krylov A.M., Malakhova E.G., Vladimirova N.A., Vyyavlenie i otsenka ploshchadei katastroficheskikh vetrovalov 2009–2010 gg. po dannym kosmicheskoi s'emki (Identification and assessment of forest areas damaged by windfalls in 2009–2010 by means of remote sensing), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2012, No. 200, pp. 197–207.
- Kuemmerle T., Kaplan J.O., Prishchepov A.V., Rylsky I., Chaskovskyy O., Tikunov V.S., Müller D., Forest transitions in Eastern Europe and their effects on carbon budgets, *Global Change Biology*, 2015, Vol. 21, No. 8, pp. 3049–3061.
- Leskinen P., Lindner M., Verkerk P.J., Nabuurs G.J., Van Brusselen J., Kulikova E., Hassegawa M., Lerink B. (eds.), *Russian Forests and Climate Change. What Science Can Tell Us 11*, Joensuu: European Forest Institute, 2020, 140 p.
- Lesnoi kodeks Rossiiskoi Federatsii* ot 04.12.2006 № 200-FZ
- Likhomanov O.V., Bubnov D.V., Denezhnaya otsenka sredozashchitnykh funktsii lesa (na primere lesov i lesnykh nasazhdenii Volgogradskoi oblasti) (Monetary valuation of environment protection functions of forests (the case study of forests and forest plantations of the Volgograd region)), *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya*, 2012, No. 2, pp. 214–220.
- Loginov A.A., Lykov I.N., Vasil'eva M.A., Ukрупnennaya otsenka stoimosti ekosistemnykh uslug lesa (The integrated assessment of the value of forest ecosystem services), *Problemy regional'noi ekologii*, 2018, No. 3, pp. 120–124.
- Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Vedrova E.F., Aniskina A.A., Mukhortova L.V., Hygroscopic properties of the litter of coniferous and deciduous stands in Central Siberia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, Vol. 6, No. 5, pp. 525–531.
- Luganskii N.A., Zalesov S.V., Luganskii V.N., *Lesovedenie* (Forest science), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2010, 432 p.
- Luganskii N.A., Zalesov S.V., Shavrovskii V.A., *Lesovedenie* (Forest science), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTA, 1996, 373 p.
- Malevsky-Malevich S.P., Molkontin E.K., Nadyozhina E.D., Shklyarevich O.B., An assessment of potential change in wildfire activity in the Russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century, *Climatic Change*, 2008, Vol. 86, pp. 463–474, doi 10.1007/s10584-007-9295-7
- Melekhov I.S., *Lesovedenie* (Forest science), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980, 408 p.
- Neelova L.O., Parametrizatsiya al'bedo podstilayushchei poverkhnosti v gidrodinamicheskikh modelyakh atmosfery noi tsirkulyatsii (Parametrization of the underlying surface albedo in hydrodynamic models of the atmospheric circulation), *Matematika. Komp'yuter. Obrazovanie* (Mathematics. Computer. Education), Proc. of XIV International Conference, Izhevsk: Nauchno-izdatel'skii tsentr "Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika", Vol. 2, pp. 249–253.
- Nesterov V.G., *Obshchee lesovodstvo* (General silviculture), Moscow, Leningrad: Goslesbumizdat, 1954, 656 p.
- Obidin A.A., Tekushchii prirost sosnovykh lesopolos i snegonakoplenie (Current apical growth of forest belts and snow accumulation), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, Vol. 96, No. 10, pp. 59–61.
- Oldén A., Peura M., Saine S., Kotiaho J.S., Halme P., The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate, *Forest Ecology and Management*, 2019, Vol. 453, Paper No. 117623, 10 p, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117623>
- Onuchin A.A., Prichiny kontseptual'nykh protivorechii v otsenke gidrologicheskoi roli boreal'nykh lesov (The reasons for conceptual contradictions in evaluating hydrological role of boreal forests), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2015, No. 2, pp. 41–54.
- Otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii*, (Assessment report of Roshydromet on climate changes and their

- consequences on the territory of the Russian Federation), Moscow: Rosgidromet, 2008, 515 p.
- Paramonov E.G., Lesopolosy i uvlazhnenie mezhpolei (Windbreaks and moistening the fields between them), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No. 11(109), pp. 52–54.
- Pobedinskii A.V., *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* (Water protection and soil-protective role of forests), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1979, 176 p.
- Ponomarev E.I., Ivanov V., Korshunov N., Chapter 10 – System of Wildfires Monitoring in Russia, In: *Wildfire Hazards, Risks and Disasters*, Elsevier, 2015, pp. 187–205, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410434-1.00010>
- Popova I.V., Burak E.E., Vorob'eva Y.A., Otsenka roli zelenykh nasazhdenii v formirovanii komfortnykh mikroklimaticheskikh uslovii v letnii period (An assessment of the role of green belts in creating comfortable microclimatic conditions in summer), *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2019, No. 2, pp. 47–55.
- Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 20 dekabrya 2017 g. № 692* (Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of December 20, 2017 No. 692).
- Rakhmanov V.V., *Gidroklimaticheskaya rol' lesov* (Hydroclimatic role of forests), Moscow: Lesnaya prom-t', 1984, 240 p.
- Rakhmanov V.V., *Lesnaya gidrologiya* (Forest hydrology), Moscow: Izd-vo VINITI, 1981, Vol. 3, 182 p.
- Rakhmanov V.V., Vliyanie lesov na vodnost' v basseine verkhnei Volgi (Influence of forests on water content in the upper Volga basin), *Trudy Gidromettsentra SSSR*, 1971, No. 88, pp. 175.
- Reid W.V., Mooney H.A., Cropper A., Capistrano D., Carpenter S.R., Chopra K., *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being*, Synthesis Report. Washington DC: Island Press, 2005, 160 p.
- Romanova E.P., *Antropogennaya transformatsiya landshaftov Evropy (vne SNG). Diss. d-ra geograf. nauk v forme nauch. dokl.* (Anthropogenic transformation of landscapes in Europe (outside the CIS). Dissertation of Doctor's geogr. sci. in the form of a scientific report), Moscow: 1998, 74 p.
- Rozenberg G.S., Saksonov S.V., Senator S.A., Zapozdalyi opyt ekologicheskikh ekspertiz global'nykh planov preobrazovaniya prirody v Rossii (Belated experience of environmental impact of the global plans for the transformation of nature in Russia), *Voprosy stepovedeniya*, 2018, No. 14, pp. 15–35.
- Rumiantsev V.Y., Malkhazova S.M., Leonova N.B., Soldatov M.S., Forecasting possible changes in zonal vegetation boundaries in European Russia and Western Siberia in connection with global warming, *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, Vol. 6, No. 4, pp. 343–349.
- Shmatkov N., Grigor'ev A., Lugovaya D., Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5361> (August 27, 2020).
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Climate change and wildfires in Russia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, Vol. 6, No. 7, pp. 683–692.
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Kraksner F., Onuchin A.A., Perekhod k ustoichivomu upravleniyu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskie predposylki (Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological backgrounds), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, No. 6, pp. 3–25.
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., McCallum I., Lakyda I.P., Vaganov E.A., Sukhinin A.I., Maksyutov S.S., Impact of wildfire in Russia between 1998–2010 on ecosystems and the global carbon budget, *Doklady Earth sciences*, 2011, Vol. 441, No. 2, pp. 1678–1682.
- Smirnov N.S., Korotkov V.N., Romanovskaya A.A., Black carbon emissions from wildfires on forest lands of the Russian Federation in 2007–2012, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2015, Vol. 40, No. 7, pp. 435–442.
- Spathelf P., Stanturf J., Kleine M., Jandl R., Chiatante D., Bolte A., Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration, *Annals of Forest Science*, 2018, Vol. 75, No. 2, 6 p, <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0736-4>
- Tarakanov A.M., Surina E.A., Sen'kov A.O., Lesokhozyaystvennye meropriyatiya po adaptatsii rastitel'nosti k izmeneniyu klimata (Forestry measures to adapt vegetation to climate change), *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2017, No. 47, pp. 67–71.
- Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Vaisfel'd M.A., Glazov P.M., Krenke A.N., Tertitskii G.M., “Pozelenenie” tundry kak draiver sovremennoi dinamiki Arkticheskoi bioty (“The greening” of the tundra as a driver of the modern dynamics of Arctic biota), *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2018, No. 2(30), pp. 31–44.
- Torzhkov I.O., Koroleva T.S., Konstantinov A.V., Kushnir E.A., Analiz kompleksa adaptatsionnykh mer k ozhi-daemym izmeneniyam klimata v lesnom sektore Rossiiskoi Federatsii (Economic efficiency analysis of the adaptation to climate change in forestry in Russia), *Trudy Sankt-Petersburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*, 2017, No. 4, pp. 64–77.
- Vagapova A.B., Vliyanie stikhiinykh prirodnykh protsessov na strukturu i funktsionirovanie landshafta (Influence of natural natural processes on the structure and functioning of a landscape), *Aktual'nye problemy prirodoopol'zovaniya i prirodoobustroistva* (Actual problems of nature management and environmental engineering), Book of Articles of II International Scientific Practical Conference, Penza: Penzenskii gos. agrarnyi un-t, 2019, pp. 71–74.
- Vinceti B., Manica M., Lauridsen N., Verkerk P.J., Lindner M., Fady B., Managing forest genetic resources as a strategy to adapt forests to climate change: perceptions of European forest owners and managers, *European J. Forest Research*, 2020, Vol. 139, No. 6, pp. 1107–1119.
- Voronkov N.A., *Rol' lesov v okhrane vod* (The role of forests in water protection), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 285 p.
- 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), Moscow: Rosgidromet, 2014, 1006 p.

- Vysotskii G.N., *Uchenie o lesnoi pertinentsii: kurs lesovedeniya* (The study of forest pertinence: a course in forestry), Leningrad: Lesnoe khoz-vo i lesnaya prom-st', 1930, 131 p.
- Zamolodchikov D., Kraev G., Vliyanie izmenenii klimata na lesa Rossii: zafiksirovannye vozdeistviya i prognoзные otsenki (Impact of Climate Change on Russian Forests: Recorded Impacts and Forecast Estimates), *Ustoichivoe lesopol'zovanie*, 2016, No. 4(48), pp. 23–31.
- Zamolodchikov D.G., An estimate of climate related changes in tree species diversity based on the results of forest fund inventory, *Biology bulletin reviews*, 2011b, Vol. 2, No. 2, pp. 154–163.
- Zamolodchikov D.G., Sistemy otsenki i prognoza zapasov ugleroda v lesnykh ekosistemakh (Systems of assessment and forecast of carbon storages in forest ecosystems), *Ustoichivoe lesopol'zovanie*, 2011a, No. 4, pp. 15–22.
- Zellweger F., De Frenne P., Lenoir J., Vangansbeke P., Verheyen K., Bernhardt-Römermann M., Baeten L., Hédal R., Berki I., Brunet J., Van Calster H., Chudomelová M., Decocq G., Dirnböck T., Durak T., Heinken T., Jaroszewicz B., Kopecký M., Máliš F., Macek M., Marek M., Naaf T., Nagel T. A., Ortmann-Ajkai A., Petřík P., Pielech R., Reczyńska K., Schmidt W., Standovář T., Świerkosz K., Teleki B., Vild O., Wulf M., Coomes D., Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming, *Science*, 2020, Vol. 368(6492), pp. 772–775.
- Zhu Z., Piao S., Myneni R.B., Huang M., Zeng Z., Canadell J.G., Ciais P., Sitch S., Friedlingstein P., Arneth A., Cao C., Cheng L., Kato E., Koven C., Li Y., Lian X., Liu Y., Liu R., Mao J., Pan Y., Peng S., Peñuelas J., Poulter B., Pugh T.A.M., Stocker B.D., Viovy N., Wang X., Wang Y., Xiao Z., Yang H., Zaehle S., Zeng N., Greening of the Earth and its drivers, *Nature Climate Change*, 2016, Vol. 6, No. 8, pp. 791–795.
- Zinov'eva A.E., K voprosu klassifikatsii ekosistemnykh uslug (On classification of ecosystem services), *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2020, Vol. 56, No. 1, pp. 5–13.