ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2020, том 84, № 6, с. 905–919

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 911.52

ЛАНДШАФТНО-БАССЕЙНОВЫЙ ПОДХОД В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ МАЛОНАРУШЕННЫХ ЛЕСОВ ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2020 г. Т. Ю. Браславская[a], Е. Ю. Колбовский[b, *], Е. С. Есипова[c], В. Н. Коротков[d], А. В. Немчинова[e], Е. Ю. Чуракова[f], А. В. Козыкин[j], А. А. Кулясова[e], А. А. Алейников[a]

[a]*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия*

[b]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

[c]*НП Прозрачный мир, Москва, Россия*

[d]*Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия*

[e]*Центр независимых социологических исследований, Санкт-Петербург, Россия*

[f]*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия*

[j]*Национальный парк "Кенозерский", Архангельск, Россия*

**e-mail: kolbowsky@mail.ru*

Поступила в редакцию 17.03.2020 г.
После доработки 02.08.2020 г.
Принята к публикации 12.08.2020 г.

Обсуждается применение геоинформационной модели речных бассейнов 3–4 порядка (по Страле-ру) в прогнозировании последствий интенсивного лесопользования в старовозрастных малонарушенных бореальных лесах. В северной части Онежского п-ова при помощи статистического анализа геоморфометрических и гидрографических параметров выделено 7 типов бассейнов, различающихся по преобладающим в процессах стока тенденциям (аккумуляция, транзит, разгрузка). После проведения концентрированных сплошных рубок в бассейнах с преобладанием аккумуляции стока прогнозируется усиление заболачивания и задержка лесовосстановления, а в бассейнах с транзитом стока – интенсивная эрозия почвы и эвтрофикация водных экосистем, которая распространится ниже по течению. В них прогнозируется ущерб ресурсам питьевой воды местного населения и рыбным ресурсам, снижение рекреационной ценности территорий национального парка "Онежское Поморье". Природоохранная ценность лесного массива в наибольшей степени будет снижена в результате интенсивных лесозаготовок в транзитных бассейнах, где сосредоточено 42% наименее нарушенных старовозрастных хвойных лесов, обеспечивающих связность ландшафта для охраняемых флоры и фауны.

Ключевые слова: моделирование бассейнов, типы бассейнов, прогноз последствий лесопользования, бореальные леса, природоохранная ценность экосистем

DOI: 10.31857/S2587556620060035

Малонарушенные леса выполняют критически важные экосистемные функции, смягчая климатические изменения и сдерживая планетарный кризис биоразнообразия [43, 53]. В европейской части России в настоящее время постоянно растут площади хвойных лесов, вовлекаемых в промышленное освоение [30]. С 2009 по 2013 г. в Архангельской области было пройдено концентрированными сплошными рубками (до 50 га за один прием) более 26 тыс. га северотаежных лесов; в результате такого лесопользования наблюдаются высокие темпы смены естественных лесов производными [9]. В литературе описаны негативные последствия такого лесопользования: эрозия почвы [21, 24], снижение биоразнообразия [47, 50], учащение незаконных рубок, пожаров, браконьерства благодаря доступности ландшафтов через сеть лесовозных дорог [3, 33].

Формирующиеся молодые древостои по меньшей мере 50 лет не могут полноценно регулировать гидрологический цикл [12], а на обширных безлесных пространствах часто развивается заболачивание, которое в условиях холодного климата надолго задерживает лесовосстановление [24, 37, 48, 53]. Поэтому планирование лесопользования и экологическую оценку его последствий необходимо проводить на основе ландшафтно-бассейнового подхода [15, 26, 29]. С появлением алгоритмов геоинформационного моделирования границ водосборов и ландшафтных местополо-

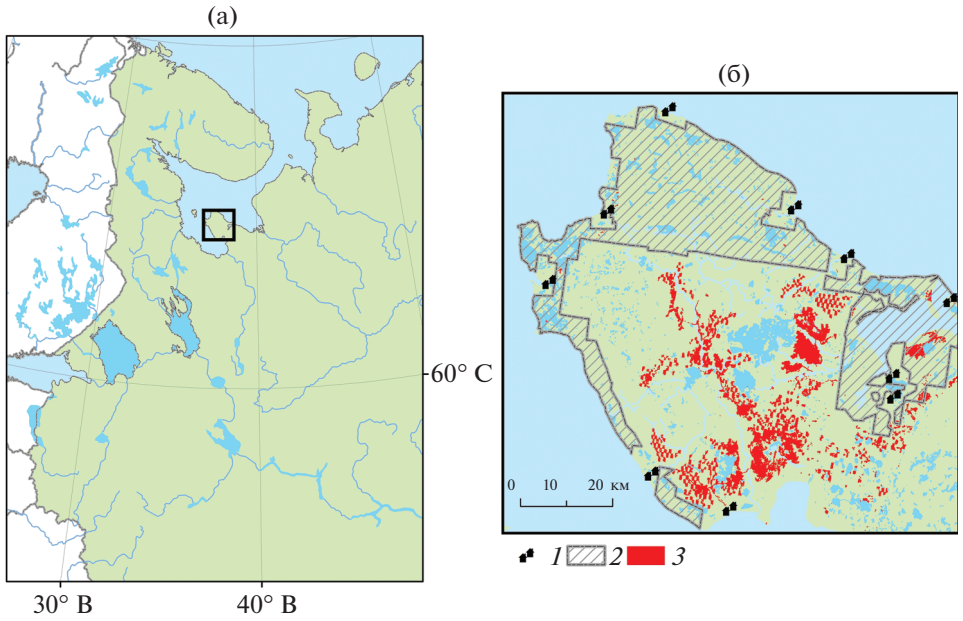

Рис. 1. (а) Местонахождение Онежского полуострова. (б) Район исследований. *1* – населенные пункты, *2* – национальный парк “Онежское Поморье”, *3* – вырубки с 2000 по 2018 г.

жений [36, 44] этот подход приобрел новые возможности использования бассейновой сети в качестве матрицы операционно-территориальных единиц (ОТЕ), которую можно наполнять разнообразной информацией о состоянии территории.

Онежский полуостров – пример малоосвоенной территории в северной тайге, где недостаточно изучены организация лесного покрова и его природоохранная ценность, но ведутся интенсивные лесозаготовки. В 2013 г. в северной части полуострова был создан национальный парк “Онежское Поморье”. В ходе согласования его границ площадь была значительно сокращена по сравнению с первоначальным проектом. Теперь же сам факт существования особо охраняемой природной территории создает иллюзию достаточного уровня охраны экосистем на полуострове и приемлемости интенсивного освоения его лесов. Такое упрощенное представление недопустимо и должно быть скорректировано раньше, чем произойдет деградация экосистем полуострова.

Цель нашей работы – теоретическое обоснование комплексной экологической оценки последствий интенсивного лесопользования с учетом ландшафтно-бассейновой структуры лесного массива. Для этого были поставлены задачи: (1) выявить средствами ГИС-моделирования бассейновую структуру территории на уровне водосборов 3–4-го порядков по Стралеру, понимаемых как ОТЕ; (2) определить функциональную специализацию различных ОТЕ в процессах стока путем анализа значимых геоморфологических и гидрологических параметров; (3) охарактеризовать разнообразие экосистем в разных ОТЕ на основе анализа растительности; (4) определить природоохранную ценность лесов; (5) сделать прогноз последствий интенсивных лесозаготовок для функционально разных ОТЕ.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования охватывают часть Онежского полуострова к северу от перешейка между губой Ухта и Унской губой, площадью 4414.87 км^2 (рис. 1).

Климат полуострова – умеренно-континентальный, характеризующийся коротким прохладным летом (максимальная среднемесячная температура – от +11 °С до +14 °С) и продолжительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом (минимальная среднемесячная температура – от –9 °С до –11 °С). Годовая сумма осадков – 477 мм; при этом около 2/3 осадков выпадает в летние и осенние месяцы. Прибрежное положение территории, наличие на ней многочисленных малых рек, озер и особенно болот поддерживает круглогодично влажность воздуха 80% и более [2, 8].

Геология, геоморфология и ландшафты

Полуостров сложен плотными метаморфическими протерозойскими породами (аргиллитами, алевролитами), которые перекрыты глинистыми, реже – песчаными и галечными, четвертичными отложениями мощностью от первых метров до первых десятков метров [2, 11]. Низкой

водопроницаемостью большинства четвертичных отложений обусловлен слабый дренаж территории, особенно в центральной части. Ледниково-озерная равнина центральной части полуострова (абсолютные высоты 60–160 м) разделена котловинами обширных верховых болот вокруг реликтовых озер ледникового происхождения. В этих ландшафтах сформированы крупнейшие гидрографические узлы, с которыми связаны истоки всех наиболее значительных рек. Близки к ним ландшафты холмисто-западинной моренной равнины и конечных морен (с высотами до 180 м) с дерново-подзолистыми и дерново-глеевыми почвами. Ближе к периферии полуострова – зона средних течений рек на пологоволнистой поверхности ледниково-морской слабо- и среднедренированной равнины с подзолистыми и глеевыми почвами. Периферийная морская аккумулятивно-денудационная заболоченная равнина (абсолютные высоты 30–60 м) сложена суглинками, глинами и галечниками, залегающими на цоколе из интрузивных и метаморфических пород. Здесь в преобладают глеевые и болотно-подзолистые почвы. Пологоволнистая морская терраса (до 15–40 м) сложена песками с участками валунов [10].

Растительный покров

На ледниково-озерной равнине в центральной части господствуют заболоченные олиготрофные кустарничково-сфагновые и кустарничково-зеленомошные ельники и сосняки; на водоразделах, чередуясь с лесами – грядово-мочажинные олиготрофные сфагновые болота. На холмисто-западинной моренной равнине, конечных моренах и ледниково-морской равнине произрастают кустарничково-зеленомошные ельники и сосняки, на крутых склонах речных долин и озерных котловин в ельниках обычна осина. В долинах среднего течения рек, на ледниково-морской равнине, нередки высокотравные ельники. На невысоких приозерных террасах ледниково-морской равнины и на морской заболоченной равнине – кустарничково-сфагновые ельники и сосняки, чередующиеся с мезотрофными и евтрофными болотами, на дюнах морской террасы – кустарничково-зеленомошные и лишайниково-зеленомошные сосняки, тундроподобные заболоченные пустоши на месте вырубленных лесов [14, 26, 32].

История освоения Онежского полуострова

С первой половины XVII в. на побережье Онежского полуострова владел большими территориями Соловецкий монастырь [22], содержавший в селениях соляные варницы (усолья), расходовавшие от одной до нескольких сотен кубометров дров ежегодно. Это привело к тому, что леса вокруг селений уже в XVII в. были вырублены, и дрова заготавливались в 20–30 верстах – вдоль рек, пригодных для весеннего сплава. При этом площадь аграрных угодий была незначительна, сообщение между ними и селениями проходило вдоль побережья и по морю. Таким образом, на периферии полуострова ландшафты претерпели сильную антропогенную трансформацию, но центр почти не был затронут хозяйственной инфраструктурой. Такой уклад сохранялся до второй половины XIX в., когда усолья начали закрываться из-за уменьшения спроса на беломорскую соль, а основными занятиями населения стали рыбная ловля, морская и сухопутная охота [25]. Тем же население занималось и в XX в.: созданные в конце 1920-х – начале 1930-х годов колхозы были рыболовецкими, а сельское хозяйство обеспечивало только собственные нужды [18]. Поэтому на удалении от побережья хозяйственная инфраструктура не развивалась.

Природоохранная ценность Онежского полуострова

Хвойные леса Онежского полуострова длительное время существовали как обширный, не фрагментированный массив. В ландшафтах ледниково-морской равнины были выявлены сосняки 150–360 лет (максимум – 443 года), и разновозрастные ельники, включающие деревья 200–370 лет (максимум – 425 лет), что свидетельствует о длительном отсутствии пожаров и рубок [14, 51]. На полуострове выделены две малонарушенные лесные территории (МЛТ) площадью более 400 тыс. га [1]. Здесь обитает целый ряд охраняемых видов [16, 17]: (1) 8 видов чувствительных к фактору беспокойства птиц, (2) нуждающийся в чистой холодной воде и занесенный в Красную книгу МСОП пресноводный моллюск – европейская жемчужница (*Margaritifera margaritifera*), (3) 2 вида сосудистых растений, 2 вида лишайников, 1 вид грибов [4, 5, 13, 14]. Через полуостров проходит Двинско-Онежский пролетный коридор: во время дальних миграций птиц водно-болотные и лесные экосистемы служат для них местами массовых остановок [24]. В устья рек заходят на нерест лососевые рыбы [32].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование сети речных бассейнов (ОТЕ)

Основой для моделирования водосборов Онежского полуострова служили цифровая модель рельефа (ЦМР) *GMTED2010 Global Grids* [36] и векторный слой оцифрованных по топографическим картам водотоков (до 3–4-го порядка по классификации Стралера). Моделирование оказалось не тривиальной задачей: на водоразделах слабо выражены пригребневые элементарные поверхности и одновременно высок уровень забо-

лоченности и заозеренности; сток из таких гидрографических узлов может потенциально идти в разные стороны, а алгоритм выявления "направления стока" (*Flow direction*) неустойчиво реализуется в автоматическом режиме и создает много артефактов. Поэтому моделирование проводилось независимо в пакетах *ArcMap, SAGA u Whitebox* с последующим сравнением результатов, по итогам которого предпочтение было отдано модели, построенной в *ArcMap* при помощи операций группы *Hydrology* с усовершенствованным алгоритмом поиска приустьевых точек водотоков. Построенная матрица водосборов была подвергнута корректировке, генерализации, и иерархическому объединению водосборов в бассейны 3–4-го порядка. У полученных в результате объединения 231 бассейна (рис. 2) распределение по площади близко к нормальному (минимальное – 0.4 км^2, максимальное – 119.0 км^2 и медиана – 17.0 км^2).

На основе ЦМР были генерированы в ГИС SAGA (инструментами *Terrain Analysis – Morphometry*) тематические растровые слои следующих геоморфометрических параметров [38, 40, 46]: высот – абсолютной (*Height)*, стандартизированной (*Standardized Height*) и относительной высоты над уровнем ближайшего водотока (*Height Above Rivers*), а также глубины залегания днищ речных долин (*Valley Depth*), катенарной дифференциации склонов (*Middle Slope Position*), гребнекилевой дифференциации склонов (*Topographical Index, TPI*), индекса влажности (*Wetness Index*), индекса эрозионного потенциала рельефа (*Protection Index*). Для перехода от абсолютных к относительным значениям параметров растры были подвергнуты нормированию в программе *ArcMap 10.3* и после этого использованы для выявления специализации бассейнов 3–4 порядка в процессах стока. С этой целью полигон каждого бассейна был атрибутирован извлеченными из тематических растров рельефа медианными значениями 7-ми перечисленных выше параметров и 2-мя гидрографическими параметрами (плотностью речной сети и заозеренностью). В пакете *SAGA* был проведен кластерный анализ бассейнов по сходству параметров – инструмент *Cluster Analysis (Shapes)* с опцией *Hill-Climbing*; предварительно было определено оптимальное число кластеров (инструмент "*Grouping*" пакета *ArcMap 10.3* с применением опции "без пространственных ограничений", то есть без учета близости/удаленности (сходства) бассейнов. Путем слияния (инструмент *Dissolve* в *ArcMap 10.3*) полигонов всех бассейнов, отнесенных к одному и тому же кластеру, были получены объединенные полигоны этих типов – функциональные зоны.

Полевые исследования

В 2014–2018 гг. на севере полуострова было проведено маршрутное геоботаническое обследование лесных и болотных экосистем национального парка "Онежское Поморье" (окрестности д. Летняя Золотица и д. Пушлахта, оз. Выгозеро) и за его пределами, в том числе обследованы 6 бассейнов 3–4 порядка (рис. 2б), выбранных исходя из их доступности, разной степени нарушенности лесов, выявленной по данным дистанционного зондирования (ДДЗ), а также отсутствия природоохранного статуса. При выполнении геоботанических описаний и на маршрутах были выборочно взяты керны из стволов деревьев разного диаметра для уточнения современного возраста древостоев, зафиксированы местонахождения редких видов сосудистых растений, мхов, грибов и лишайников.

Картографирование экосистем

Для картографирования использованы результаты дистанционного исследования Северо-Запада России [28] с генерализацией выделенных в нем категорий до следующих типов, имеющих контрастные спектральные характеристики растительности и различающихся по природоохранной ценности: леса – еловые, сосновые, мелколиственные, смешанные (хвойно-мелколиственные), незаболоченные безлесные территории, безлесные болота, акватории. Основой для картографирования служили мультиспектральные изображения Landsat 8, созданные лабораторией *GLAD* Университета Мэриленда (каналы: красный, ближний инфракрасный и коротковолновые инфракрасные) за безоблачные дни вегетационного периода 2018 г. (для Онежского полуострова – 17 июня, 10, 17 и 19 июля и 2 августа). Картографирование незаболоченных безлесных территорий проведено с использованием покрытия *Global Forest Change* [41], отражающего антропогенные нарушения 2000–2018 гг. Остальные типы экосистем были картографированы при помощи интерпретации изображений в программе NeRIS (разработана Инженерно-технологическим центром "СканЭкс"), использующей алгоритм самоорганизующихся искусственных нейронных сетей Кохонена [42]. Для обучения алгоритма выделяли по 20–30 эталонных контуров каждого типа, состоящих из 100–300 пикселей с однородными спектральными характеристиками [48]. Участки изображений выбирали, основываясь на генерализованных результатах предшествующего дистанционного исследования [28], исключив более поздние антропогенные нарушения [41]; границы между разреженными лесами и болотами уточняли по снимкам высокого разрешения. Верификацию проводили по 75 геоботаническим описаниям методом *simple random sam-*

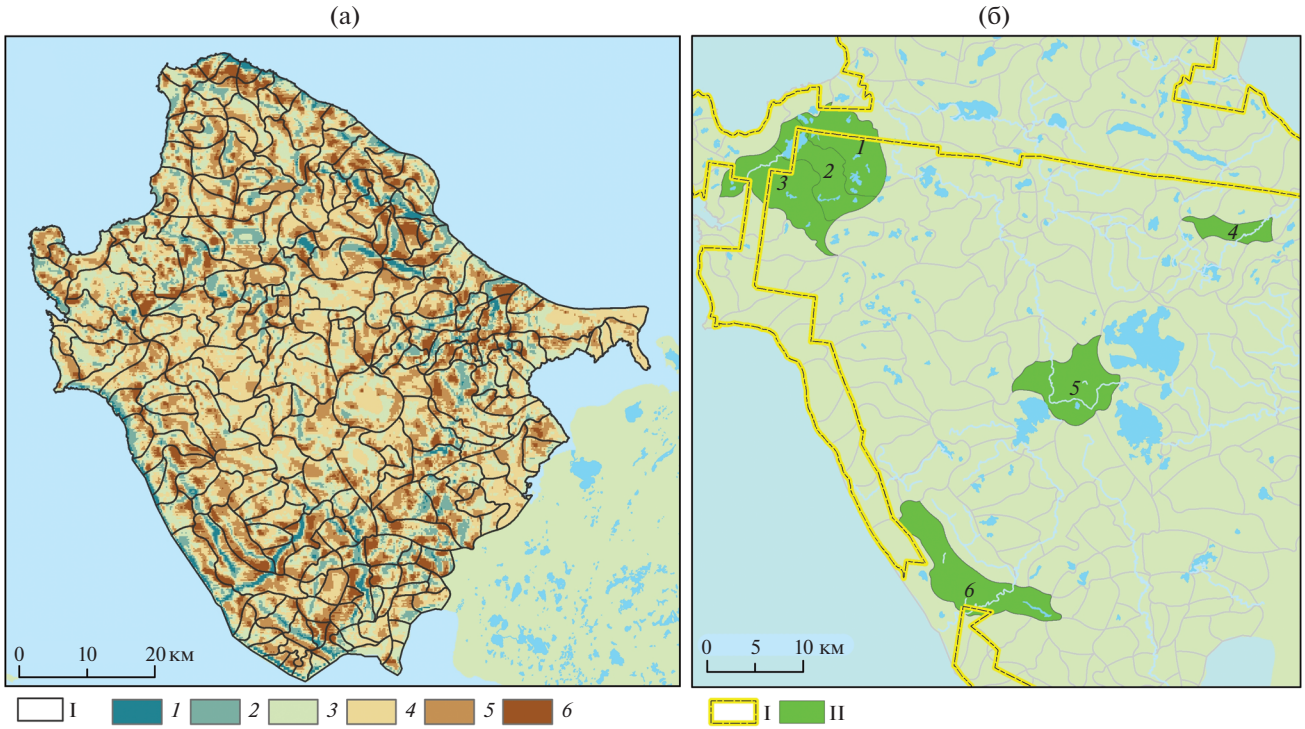

Рис. 2. (а) Наложение сети бассейнов 3–4-го порядков (ОТЕ) на тематический растр TPI. I – элементарные речные бассейны. Топографический индекс: *1* – –49.5...–17.1 (прикилевые поверхности ложбин и долин); *2* – –17.1...–8.1 (пониженные вогнутые поверхности); *3* – –8.1...–2.3 (плоские поверхности); *4* – –2.3...2.8 (нижние части склонов); *5* – 2.8–9.2 (верхние части склонов); *6* – 9.2–36.5 (пригребневые поверхности – водоразделы). (б) Расположение обследованных бассейнов. I – национальный парк "Онежское Поморье". II – элементарные речные бассейны: *1* – руч. Микуевский; *2* – руч. Семиозерный; *3* – руч. Сенной; *4* – приток р. Яреньги; *5* – р. Быковка; *6* – р. Сухая Ростань.

pling. Общая точность интерпретации композитного изображения алгоритмом составила 73% (табл. 1); основным источником ошибок ожидаемо стала низкая четкость границ между хвойно-мелколиственными лесами и другими экосистемами. Вместе с тем точность дифференциации еловых лесов от остальных экосистем составила 85%, сосновых лесов – 93%, что позволяет выявлять малонарушенные леса [28]. Полученная карта (рис. 3) была наложена на матрицу бассейнов 3–4 порядка (см. рис. 2). При помощи инструментов зональной статистики *ArcMap 10.3* для каждого бассейна и функционального типа бассейнов были определены площади каждого типа экосистем и лесистость.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ландшафтно-бассейновая структура территории

ОТЕ (речные бассейны 3–4 порядка) были сгруппированы по 7-ми геоморфометрическим и 2-м гидрографическим признакам в 7 кластеров (табл. 2). По аналогии с 5 функциональными типами речных бассейнов [19], эти 7 кластеров мы тоже рассматриваем в качестве типов ОТЕ, различающихся по особенностям стока. Частные рас-

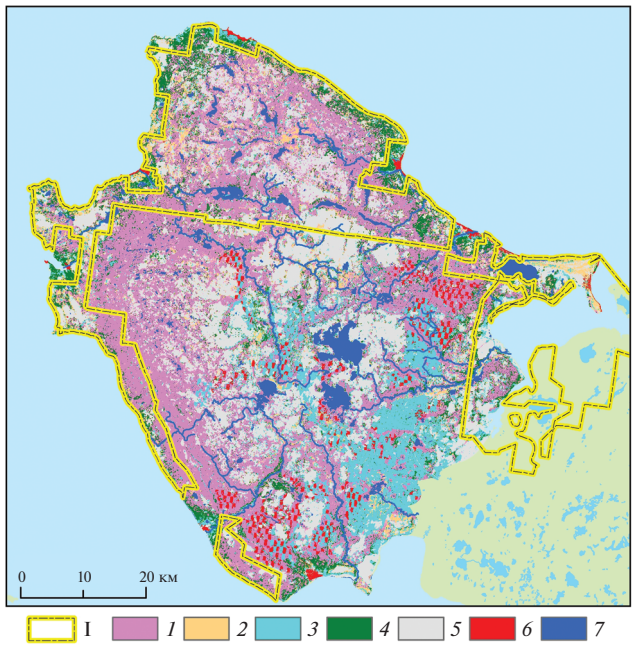

Рис. 3. Современные экосистемы северной части Онежского полуострова. I – национальный парк "Онежское Поморье". Типы экосистем: *1* – ельники; *2* – сосняки; *3* – лиственные леса; *4* – смешанные леса; *5* – безлесные болота; *6* – безлесные незаболоченные территории; *7* – акватории.

Таблица 1. Матрица ошибок, полученная при сравнении результатов интерпретации изображения с наземными данными (общее число геоботанических описаний – 75)

Тип экосистем	1	2	3	4	5	Всего описаний	U_Acc, %	Dt_Acc, %
1 – еловые леса	**23**	0	0	6	0	29	79.3	85.3
2 – сосновые леса	1	**17**	0	2	0	20	85.0	93.3
3 – мелколиственные леса	0	0	**4**	0	0	4	100.0	94.7
4 – смешанные леса	4	2	4	**8**	1	19	42.1	74.7
5 – безлесные болота	0	0	0	0	**3**	3	100.0	98.7
Всего описаний	28	19	8	16	4	**55**	81.3	–
P_Acc, %	82.1	89.5	50.0	50.0	75.0	69.3	**73.3**	–

Примечания. Столбцы – число геоботанических описаний, отнесенных к типам по критериям растительности, строки – число описаний, отнесенных к типам по критериям спектральных характеристик изображения в пунктах выполнения описаний. U_Acc (User's Accuracy) – точность интерпретации изображения в результате влияния ошибок I рода (на пересечении со строкой "Всего" показано среднее значение по всем типам); P_Acc (Producer's Accuracy) – точность интерпретации в результате влияния ошибок II рода (на пересечении со столбцом "Всего" показано среднее значение по всем типам). Жирным шрифтом в каждом типе выделено число описаний, правильно классифицированных алгоритмом (ячейки на главной диагонали). Сумма значений в диагональных ячейках (пересечение столбца и строки "Всего") – число всех правильно классифицированных описаний, а отношение этой суммы к общему числу описаний – общая точность интерпретации изображения (пересечение столбца U_Acc и строки P_Acc). Dt_Acc – точность дифференциации типа на изображении (отношение числа описаний, правильно интерпретированных как принадлежащие или не принадлежащие к данному типу, к общему числу описаний).

хождения между различными региональными классификациями пока еще неизбежны, поскольку развитие ландшафтно-бассейнового подхода находится на начальном этапе, проведено мало исследований с его применением, и не устоялась универсальная классификация бассейнов. Пространственная приуроченность ОТЕ разных функциональных типов в северной части Онежского полуострова представлена на рис. 4.

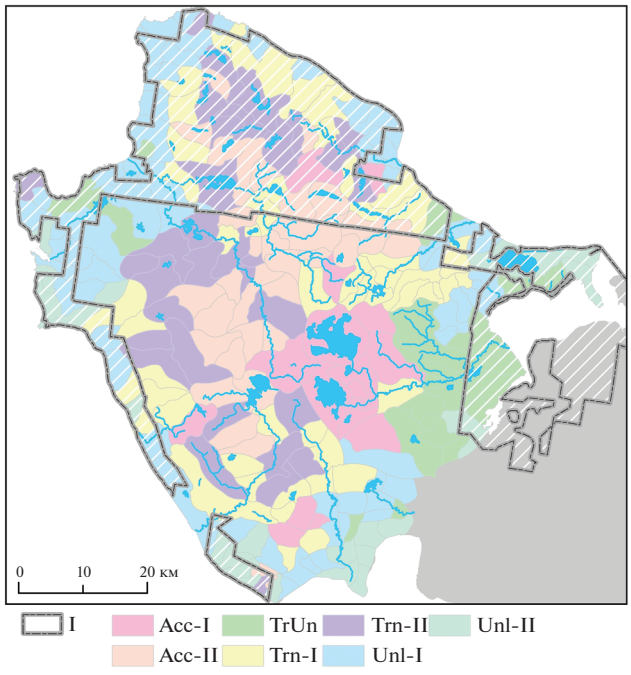

Рис. 4. Зонирование северной части Онежского полуострова по функциональной роли бассейнов 3–4 порядка (ОТЕ) в процессах стока. I – национальный парк "Онежское Поморье", коды типов – см. табл. 2.

В литературе по лесной гидрологии отмечено, что на равнинных территориях подземный сток часто играет существенную роль в перераспределении вод между водосборами, поэтому его необходимо учитывать при проведении границ бассейнов [29, 31]. Однако на Онежском полуострове, где геологическое строение затрудняет просачивание вод в почву и подстилающие породы [11, 32], можно рассматривать роль поверхностного стока как ведущую в функционировании элементарных водосборов и бассейнов 3–4 порядков. В таких условиях допустимо выявлять бассейновую структуру на основе морфометрического анализа.

В ОТЕ типов Acc-I и Acc-II выражена тенденция к аккумуляции поверхностных вод. Суммарно эти типы охватывают 21% площади рассматриваемой территории (большинство – приурочены к ледниково-озерной равнине в ее центре), в них находятся истоки и верховья многих рек Онежского полуострова, в том числе Лямцы, Вежмы и самого большого здесь бассейна – Ленско-Золотицкого. Уклоны рельефа в бассейнах небольшие, этим обусловлены высокая заболоченность (Acc-I – 33.5%, Acc-II – 44.9%) и заозеренность (Acc-I – 11.5%), вследствие чего такие ОТЕ играют главную роль в сглаживании обусловленных осадками межгодовых колебаний поверхностного стока. В настоящее время в большинстве ОТЕ этих типов нет антропогенной инфраструктуры, а вырубки и гари занимают не более 3%. Доля площади вторичных смешанных и мелколиственных лесов в типах Acc-I и Acc-II – не более 20% (в бас-

Таблица 2. Классификация ОТЕ северной части Онежского полуострова по функциональной роли стока

Код типа	Доля от площади территории, %	Число ОТЕ	Название типа ОТЕ (с учетом характерных для них особенностей стока)	Преобладающие в ОТЕ звенья гидрографической сети	Геоморфометрические критерии кластеризации ОТЕ	Общая ландшафтная характеристика
Acc-I	9	16	Накопители	Гидрографические узлы (истоки главных стволов речных систем)	Большие абсолютные и относительные высоты при минимальных уклонах, высокой заозеренности и малой плотности речной сети	Вогнутые “линзы” водоразделов озерно-ледниковой равнины с реликтовыми озерами, окружающими их болотными массивами различного типа (от верховых до низинных); главные реки берут здесь начало и растекаются в разные стороны
Acc-II	12	33	Транзитно-аккумулирующие	Боковые истоки (верхние части склоновых катен)	Большие абсолютные и относительные высоты, малые значения индекса влажности, средние и малые значения плотности речной сети и топоиндекса	Верховья рек в верхних частях пологих слабодренированных (местами заболоченных) склонов ледниково-озерной равнины
Trn-I	17	49	Транзитные верхнесклоновые	Верхние звенья гидрографической сети	Средние абсолютные высоты при максимальных уклонах, относительно глубоком залегании долин и высоких значениях топоиндекса	В сложном рельефе с крутыми склонами выраженных ледниковых гряд с мелкими озерами по проточным котловинам
Trn-II	14	33	Транзитные основные (среднесклоновые)	Средние звенья гидрографической сети	Большие абсолютные высоты при средних и небольших уклонах, низких значениях топоиндекса, средней заозеренности и плотности речной сети	В сложном мелкохолмистом рельефе ледниково-озерной равнины и зандрах с крупными озерами по понижениям
TrUn	18	44	Транзитно-разгружающие	Средние и нижние части гидрографической сети	Минимальные абсолютные высоты при минимальной глубине заложения долин и средних уклонах	На низких топографических уровнях с пологими и очень пологими склонами морской террасы, слабодренированными, с проточными озерами

Таблица 2. Окончание

Код типа	Доля от площади территории, %	Число ОТЕ	Название типа ОТЕ (с учетом характерных для них особенностей стока)	Преобладающие в ОТЕ звенья гидрографической сети	Геоморфометрические критерии кластеризации ОТЕ	Общая ландшафтная характеристика
Un-I	20	61	Разгружающие основные	Нижние звенья гидрографической сети	Малые абсолютные высоты при значительных уклонах, средних и высоких значениях топоиндекса, невысокой заозеренности	На нижних частях протяженных склонов с врезанными долинами, вложенными в крутые прилегающие борта холмисто-западинной моренно-морской равнины
Un-II	10	29	Разгружающие дополнительные (окраинные)	Короткие водотоки с небольшими бассейнами	Малые абсолютные и минимальные относительные высоты при минимальных уклонах, средней заозеренности и плотности речной сети	На коротких нижних частях склонов морской террасы, открывающихся в море

сейне р. Быковки – около 38%). Поскольку древостои современных вторичных лесов моложе нормативного возраста рубки, то именно эти леса и будут определять лесистость бассейнов после осуществления всех планов лесозаготовок.

В ОТЕ типов Trn-I и Trn-II, которые локализованы преимущественно в ландшафтах моренной равнины и конечных морен, преобладает тенденция транзита стока в более крупные водотоки. Суммарно эти типы охватывают 31% рассматриваемой территории, к ним относятся бассейны истоков и верховьев рек, формирующих юго-западную часть Ленско-Золотицкого бассейна и среднее течение других рек; также – бассейны в верхнем и среднем течении рек Вейги, Лямцы и Яреньги. Для транзитных ОТЕ характерны (особенно в типе Trn-I) большие уклоны рельефа (более 10° в обследованных бассейнах притока р. Яреньги и р. Сухой Ростани) и заболоченность не более 26%. В них поверхностный сток идет быстрее и от метеоусловий каждого года зависит больше, а роль лесов в регулировании стока сводится к тому, что они сглаживают пики весеннего половодья (замедляют таяние снега) и летне-осенних дождевых паводков (задерживают осадки пологом, поглощают корневыми системами и испаряют в большем объеме, чем испарялось бы с открытой поверхности [12, 20, 36]). Транзитные ОТЕ облесены на 70–80%, причем вторичные мелколиственные и смешанные леса занимают менее 20%; недавние нарушения – менее 3%.

Бассейны, передающие сток в Белое море, расположены по периферии полуострова – на морской ледниковой равнине, в области ее контакта с моренной равниной и на морской аккумулятивно-денудационной равнине – и охватывают 48% площади. В двух типах таких ОТЕ – Unl-I и Unl-II (см. табл. 2) – преобладает разгрузка стока, в третьем – TrUn – транзит и разгрузка.

В типах Unl-I (например, бассейны ручьев Микуевского и Сенного) и Unl-II обычно невелики уклоны и амплитуды рельефа (см. табл. 2), заболоченность ОТЕ варьирует, заозеренность не превышает 2–3%, вторичные смешанные и мелколиственные леса занимают до 30–40%, что сопоставимо с долей старовозрастных лесов. ОТЕ транзитно-разгружающего типа TrUn (например, к нему относятся обследованные бассейны ручьев Семиозерного и притока Яреньги) расположены на моренной равнине, включают участки как с крутыми, так и с пологими уклонами, могут быть в разной степени заболочены (22.4% для типа в целом); к настоящему времени вторичные леса занимают в этом типе около 40% площади. Но в ОТЕ с тенденциями разгрузки стока гидрологический режим сильно зависит не только от их собственных ландшафтных условий, но и от режима в ОТЕ выше по течению.

Природоохранная ценность лесных экосистем

В бассейнах ручьев Микуевского, Семиозерного и Сенного – за пределами национального парка "Онежское Поморье" – средний возраст древостоев составляет 120–160 лет, часто присутствуют сосны и ели более 200 лет (иногда – более 300). В результате ветровала и бурелома имеется крупный валеж. Участки аналогичных лесов были обнаружены и в бассейнах притоков Яреньги и Сухой Ростани. Присутствие крупных деревьев, ветрового микрорельефа и валежа создает разнообразие экологических ниш для грибов, лишайников и мхов. В их составе много охраняемых видов. Так, в бассейнах Микуевского, Семиозерного, Сенного ручьев, р. Сухой Ростани выявлены местонахождения охраняемых [17] эпифитных лишайников *Lobaria pulmonaria* и *Bryoria fremontii*, ксилотрофных грибов *Phellinus nigrolimitatus*, *Amylocystis lapponica*, которые специализированы к обитанию в малонарушенных хвойных лесах и рекомендованы к охране [7]. Встречаются охраняемые [16] копрофильные мхи (родов *Tetraplodon* и *Splachnum*), что свидетельствует о высокой численности крупных млекопитающих (на помете которых растут эти мхи).

Анализ ландшафтно-бассейновой структуры северной части Онежского полуострова показал, что около 42% площади, занимаемой малонарушенными лесами, приходится на ОТЕ типов Trn-II и Trn-II (большинство из которых расположены за пределами национального парка), еще 12.5% – на ОТЕ типа TrUn; на типы Acc-I и Acc-II приходится суммарно 16.4% (ОТЕ – преимущественно за пределами парка), а на типы Unl-I и Unl-II – 29.4% (многие ОТЕ находятся на территории парка).

Оценка последствий интенсивных лесозаготовок

В условиях Онежского полуострова в результате широкомасштабного обезлесения произойдут следующие изменения в гидрологическом цикле:

1) количество осадков, достигающих поверхности почвы, увеличится на 20–30% [6], объем испарения с поверхности уменьшится в 2 раза [12]; под влиянием этих изменений при слабом просачивании поверхностных вод разовьется заболачивание [12, 24, 35, 49];

2) усилится эрозионное воздействие дождей на почву [21, 35, 37];

3) на водосборах увеличится внутригодовая неравномерность стока и частота экстремальных гидрологических явлений [24, 29, 35, 39, 45].

В северной части полуострова интенсивные сплошные рубки запланированы в центральной части, где ими будут затронуты ОТЕ типов Acc-I, Acc-II, Trn-I, Trn-II, а также в области Уно-Ухтинского перешейка – в ОТЕ типов Trn-I, Trn-II, Unl-I, Unl-II.

Для ОТЕ типов Acc-I и Acc-II можно прогнозировать повсеместный и долговременный подъем уровня почвенно-грунтовых вод после резкого снижения лесистости. Вследствие этого будут подтоплены и начнут усыхать леса, которые останутся после проведения лесозаготовок: молодые мелколиственные и смешанные (они будут обеспечивать лесистость менее 40%), а также старовозрастные хвойные, сохраненные в 50-метровых водоохранных полосах озер, болот и рек, то есть на незначительной площади. Причиной местного заболачивания могут становиться и лесовозные дороги, секущие естественную ложбинно-лощинную сеть и создающие локальный подпор поверхностного стока на довольно значительных площадях [45]. Возвращение параметров испарения к норме для северной тайги произойдет не за 80–100 лет, как обычно [12], а за гораздо более длительный срок.

В ОТЕ типов Trn-I и Trn-II после интенсивных лесозаготовок лесистость будет менее 20%. Резкое снижение лесистости приведет к увеличению поверхностного стока и усилению его сезонной неравномерности. Вследствие этого разовьется эрозия почв, чему будет дополнительно способствовать уничтожение напочвенной растительности тяжелой техникой, применяемой при лесозаготовках [21, 24]. В типе Trn-II, где на водосборах относительно много рыхлых отложений и не очень велики уклоны поверхности, участится размыв берегов. Оставляемые при лесозаготовках в транзитных ОТЕ водоохранные полосы лесов не смогут предотвращать поступление в гидрографическую сеть твердого стока, поскольку смытый с водосборов грунт перемещается по кюветам лесовозных дорог прямо в водотоки, пересеченные дорогами [21]. Поэтому можно прогнозировать эвтрофикацию водоемов в самих транзитных ОТЕ и в расположенных ниже по течению (в том числе в национальном парке "Онежское Поморье").

Повышение уровня почвенно-грунтовых вод в транзитных ОТЕ вероятно только в бессточных и слабо проточных котловинах рельефа. Здесь будут оставлены старовозрастные леса в водоохранных полосах озер и болот; подтопление приведет к усыханию этих лесов.

В разгружающих ОТЕ типов Unl-I и TrUn сильно проявятся негативные последствия от изменений режима стока в транзитных ОТЕ типов Trn-I и Trn-II. Поэтому в типах Unl-I и TrUn тоже можно прогнозировать заиление и эвтрофикацию водоемов, учащение экстремальных паводков (летне-осенних – наиболее негативно влияющих на прирусловую растительность), а под их влиянием – усыхание не затронутых рубками вторичных лесов и замедление лесовосстановле-

ния. Очень серьезным последствием будет ухудшение в нижнем течении рек качества воды, которую использует население приустьевых деревень рек Лямцы, Пурнемы, Яреньги, Пушлахты. Эвтрофикация водоемов в таких ОТЕ негативно повлияет на популяции рыб, нерестящихся в устьях рек, и на фауну пресноводных беспозвоночных, в том числе может привести к уничтожению еще не обнаруженных популяций европейской жемчужницы. Поскольку в национальном парке "Онежское Поморье" ОТЕ типов Unl-I, Unl-II, TrUn охватывают почти половину территории (рис. 4), то в результате интенсивных лесозаготовок многие экосистемы парка утратят свою ценность: одни – природоохранную, а другие – рекреационную.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует возможности и ограничения ландшафтно-бассейнового подхода при оценке последствий интенсивных лесозаготовок. В силу геологической специфики Онежского полуострова этот подход здесь может быть применен и позволяет обосновать оценку и прогнозы дифференцированно для ОТЕ с различной функциональной ролью в процессах стока. В аккумулятивных ОТЕ наиболее негативным последствием может стать, под влиянием заболачивания, необратимость их обезлесения, а вместе с тем и уничтожения популяций редких видов старовозрастных лесов. В транзитных ОТЕ – эрозия почв и последующая эвтрофикация пресноводных экосистем. В разгружающих ОТЕ, включая расположенные на территории национального парка, под влиянием изменившегося гидрологического режима и эрозии почв в более верхних звеньях бассейновой сети можно прогнозировать ущерб популяциям редких видов и потери их местообитаний с неопределенной перспективой восстановления, а также ухудшение социальной обстановки в населенных пунктах и рекреационного потенциала национального парка "Онежское Поморье". От разрушения леса в транзитных ОТЕ, в которых сосредоточено около 42% старовозрастных лесов северной части полуострова, ущерб биоразнообразию будет наибольшим.

На МЛТ полуострова экосистемы старовозрастных лесов способны к саморегуляции, на что указывает благополучие обитающих в них популяций специализированных наземных и пресноводных видов. Старовозрастные леса за пределами национального парка не только служат местообитаниями таких видов, но и обеспечивают для них связность ландшафта на полуострове. В результате интенсивных лесозаготовок и фрагментации МЛТ будет нарушено выполнение лесным покровом перечисленных экологических функций.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН (АААА-А18-118052400130-7) и ФИЦКИА УрО РАН (АААА-А17-117122990042-2), полевые исследования – при финансовой поддержке WWF России и национального парка "Кенозерский". Идентификацию видов ксилотрофных грибов выполнил И.А. Винер (биологический факультет МГУ).

FUNDING

The work was carried out as a part of the state-ordered research theme of the CEPF RAS (AAAA-A18-118052400130-7) and FCIARctic UB RAS (AAAA-A17-117122990042-2), field research was supported by WWF Russia and the Kenozersky State National Park. Species of xylotrophic fungi were identified by I.A. Viner (Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксенов Д.Е., Добрынин Д.В., Дубинин М.Ю., Егоров А.В., Исаев А.С., Карпачевский М.Л., Лестадиус Л.Г., Потапов П.В., Пуреховский А.Ж., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю.* Атлас малонарушенных лесных территорий России. М.: МСоЭС, 2003. 186 с.
2. Атлас Архангельской области. М., 1976. 176 с.
3. *Владимирова Н.А., Милаковский Б.* Исследование влияния дорог и рубок на пожарный режим лесов юга Дальнего Востока // Аграрный вестн. Приморья. 2016. № 1. С. 6–8.
4. *Волков А.Е., Волкова Е.В.* Изучение состояния популяций редких видов птиц национального парка "Онежское Поморье" // Научные исследования редких видов растений и животных в заповедниках и национальных парках Российской Федерации за 2005–2014. Вып. 4 / отв. ред. Д.М. Очагов. М.: ВНИИ экология, 2015. С. 434–437.
5. *Волков А.Е., Волкова Е.В.* Предварительные результаты исследования популяций европейской жемчужницы ручьев бассейна реки Лопшеньга на Онежском полуострове Архангельской области // Изв. РАН. Сер. биол. 2017. № 1. С. 19–23.
6. *Волокитина А.В.* Особенности распределения осадков под пологом хвойного леса // Лесоведение. 1979. № 2. С. 40–48.
7. Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе Европейской части России / отв. ред. Л. Андерсон, Н.М. Алексеева, Е.С. Кузнецова. Т. 2. Пособие по определению видов, используемых при обследовании на уровне выделов. СПб.: ООО «Типография "Победа"», 2009. 258 с.
8. *Грищенко О.И.* Опасные явления погоды в условиях изменения климата на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа:

Дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: Главн. геофизич. обсерватория им. А.И. Воейкова, 2011. 189 с.

9. *Ильинцев А.С., Алейников А.А.* Динамика лесного покрова северотаежного района в пределах Архангельской области по данным Global Forest Change // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20–22 апреля 2016 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 173–178.
10. *Исаченко А.Г.* Ландшафты СССР. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 320 с.
11. *Кальберг Э.А.* Геологическое описание Онежского полуострова (Лист Q-37 В.Г. Южная часть) // Тр. Сев. геологич. упр. Л.: Гостоптехиздат, 1940. Вып. 5. 62 с.
12. *Карпечко Ю.В., Бондарик Н.Л.* Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне европейского Севера России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 225 с.
13. *Коротков В.Н., Пчелкин А.В.* Первичные сведения о лихенобиоте национального парка “Онежское Поморье” // Вестн. Северного (Арктического) фед-го ун-та. Сер.: Естественные науки. 2016. № 3. С. 35–44.
14. *Коротков В.Н.* Видовое и ценотическое разнообразие малонарушенных лесов национального парка “Онежское Поморье” // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы VI Всерос. конф. с межд. участием. Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2015. С. 169–171.
15. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2001. 163 с.
16. Красная книга Архангельской области. Архангельск: Сев. (Арктич.) фед. ун-т, 2020. 490 с.
17. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
18. *Кулясова А.А., Кулясов И.П.* Трансформация традиционного природопользования поморов и поморского рыболовецкого колхоза: прошлое и настоящее // Программа сотрудничества в области устойчивого развития и экологического менеджмента СПбГУ. СПб.: СПбГУ, 2008. С. 40–45.
19. *Новаковский Б.А., Симонов Ю.Г., Тульская Н.И.* Эколого-геоморфологическое картографирование Московской области. М.: Научный мир, 2005. 72 с.
20. *Онучин А.А.* Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов // Сиб. лес. журн. 2015. № 2. С. 41–54.
21. *Побединский А.В.* Водоохранная и почвозащитная роль лесов. М.: Лесная промышленность, 1979. 174 с.
22. *Побежимов А.И.* Население поморской части Турчасовского стана Каргопольского уезда в начале XVIII в. // Вестн. Томск. ун-та. История. 2016. № 3. С. 11–15.
23. *Покровская И.В., Брагин А.В., Соболев Н.А.* Двинско-Онежский пролетный коридор – территория особого природоохранного значения и объект разработки нестандартного природоохранного менеджмента // Природное наследие России: Сб. науч. работ Международ. науч. конф., посвященной 100-летию заповедного дела и Году экологии в России (Пенза, 23–27 мая 2017 г.). Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. С. 243–244.
24. *Рубцов М.В., Дерюгин А.А., Салмина Ю.Н., Гурцев В.И.* Водорегулирующая роль таежных лесов. М.: Агропромиздат, 1990. 223 с.
25. *Савич А.* Соловецкая вотчина XV–XVII вв. (Опыт изучения хозяйства и социальных отношений). Пермь: Изд. О-ва ист., филос. и социальных наук при Пермск. гос. ун-те, 1927. 280 с.
26. *Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы: Сб. статей. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. Вып. 14. С. 7–32.
27. *Соколова Л.А.* Материалы к геоботаническому районированию Онего-Северодвинского водораздела и Онежского полуострова // Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. 3: Геоботаника. 1937. Вып. 2. С. 9–80.
28. Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга / под ред. К.Н. Кобякова. СПб.: Кольский центр охраны дикой природы, 2011. 506 с.
29. *Субботин А.И., Дыгало В.С.* Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне р. Москвы. М.: Гидрометеоиздат, 1991. 263 с.
30. *Турубанова С.А., Крылов А.М., Потапов П.В., Тюкавина А.Ю.* Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012 // Rus. J. Ecosys. Ecol. 2017. V. 2 (1).
31. *Федоров В.Н., Терентьев И.И.* Ландшафтно-гидрологический подход к исследованию структуры водного баланса и стока и оценки его характеристик с угодий малых водосборов и речных бассейнов // Вопр. геогр. Сб. 133. Географо-гидрологические исследования. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2012. С. 95–116.
32. Эколого-экономическое обоснование и основные положения Схемы организации и развития Национального парка “Онежское Поморье”. Архангельская лесоустроительная экспедиция, национальный парк “Водлозерский” / ред. С.В. Торхов, О.В. Червяков. Петрозаводск, 1999. Т. 1. 149 с.
33. *Arienti M.C., Cumming S.G., Krawchuk M.A., Boutin S.* Road network density correlated with increased lightning fire incidence in the Canadian western boreal forest // Int. J. Wildland Fire. 2010. V. 18. № 8. P. 970–982.
34. *Baxter E.V.* Distributed Hydrologic Modeling. London: Kluwer Academic Publ., 2005. 312 p.
35. *Buttle J.M.* The effects of forest harvesting on forest hydrology and biogeochemistry // Forest Hydrol. and Biogeochem. Springer: Dordrecht, 2011. P. 659–677.
36. Global Multi-Resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) // U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1073. 2011. 26 p.

37. *Dymov A.A.* The Impact of Clearcutting in Boreal Forests of Russia on Soils: A Review // Eurasian Soil Sci. 2017. V. 50. № 7. P. 780–790.

38. *Evans I.S.* Land surface derivatives: History, calculation and further development // Proc. Geomorphometry. 2013. P. 850–853.

39. *Guillemette F., Plamondon A.P., Prevost M., et al.* Rainfall generated stormflow response to clearcutting a boreal forest: peak flow comparison with 50 world-wide basin studies // J. Hydrol. 2005. V. 302. P. 137–153.

40. *Guisan A., Weiss S.B., Weiss A.D.* GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution // Plant Ecology. 1999. V. 143. № 1. P. 107–122.

41. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. V. 342. № 6160. P. 850–853.

42. *Kohonen T.* Self-organizing maps. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 501 p.

43. *Kormos C.F., Mackey B., DellaSala D.A., Kumpe N., Jaeger T., Mittermeier R.A., Filardi C.* Primary Forests: Definition, Status and Future Prospects for Global Conservation. Elsevier, 2018. P. 31–41.

44. *MacMillan R.A., Shary P.A.* Landforms and Landform Elements in Geomorphometry // Geomorphometry Concepts, Software, Applications / T. Hengl, I.H. Reuter (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 2009. P. 227–254.

45. *Moore R.D., Wondzell S.M.* Physical hydrology and the effects of forest harvesting in the Pacific Northwest: a review // J. Amer. Water Resour. Assoc. 2005. V. 41. P. 763–784.

46. *Olaya V.* Basic Land-Surface Parameters // Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. V. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009. P. 141–169.

47. *Paillet Y., Archaux F., Boulanger V., Debaive N., Fuhr M., Gilg O., Gosselin F., Guilbert E.* Snags and large trees drive higher tree microhabitat densities in strict forest reserves // Forest Ecology and Management. 2017. V. 389. P. 176–186.

48. *Richards J.A., Xiuping J.* Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. 4th Edition. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 454 p.

49. *Smerdon B.D., Redding T.E., Beckers J.* An overview of the effects of forest management on groundwater hydrology // BC J. Ecosystems and Management. 2009. V. 10. Is. 1. P. 22–44.

50. *Vuidot A., Paillet Y., Archaux F., Gosselin F.* Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats // Biol. Conserv. 2011. V. 144. Is. 1. P. 441–450.

51. *Wallenius T.H.* Forest Age Distribution and Traces of Past Fires in a Natural Boreal Landscape Dominated by Picea abies // Silva Fenn. 2002. V. 36. № 1. P. 201–211.

52. *Wang A.-F.* Effect of waterlogging on boreal forest tree seedlings during dormancy and early growing season. Dissertationes Forestales. 2016. № 224. 41 p.

53. *Watson J.E.M., Evans T., Venter O., Williams B., Tulloch A., Stewart C., Thompson I., Ray J.C., Murray K., Salazar A., McAlpine C., Potapov P., Walston J., Robinson J.G., Painter M., Wilkie D., Filardi C., Laurance W.F., Houghton R.A., Maxwell S., Grantham H., Samper C., Wang S., Laestadius L., Runting R.K., Silva-Chávez G.A., Ervin J., Lindenmayer D.* The exceptional value of intact forest ecosystems // Nature Ecol. & Evol. 2018. Is. 4 (2). P. 599–610.

The Landscape-Basin Approach for Ecological Evaluation of Intact Forest Areas on the Onega Peninsula (Russia)

T. Yu. Braslavskaya[1], E. Yu. Kolbowsky[2, *], E. S. Esipova[3], V. N. Korotkov[4], A. V. Nemchinova[5], E. Yu. Churakova[6], A. V. Kozykin[7], A. A. Kulyasova[5], and A. A. Aleinikov[1]

[1]Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[2]Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

[3]Transparent World, Moscow, Russia

[4]Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

[5]Centre for Independent Social Research, St. Petersburg, Russia

[6]Federal Research Center for Integrated Studies of the Arctic of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

[7]Kenozersky State National Park, Arkhangelsk, Russia

**e-mail: kolbowsky@mail.ru*

The article deals with consequences of intensive clear-cuts of old-growth boreal forests within modelled net of small river basins (Straler's 3–4 order). Resulting from cluster analysis of parameters of relief and rivers, 7 types of small basins play different roles in water and sediment discharge processes were described. Accordingly, consequences of intensive clear-cuts are also different due to the basin types. In basins where discharge accumulation is the main trend, one can predict intensive elevation of ground-water level that will impede reforestation for a long time. Where discharge transit prevails, strong soil erosion is highly expected, and this will bring such negative consequence as eutrophication of rivers and lakes in these basins and also in downstream-situated basins which unload discharge into sea. In the last ones, mostly situated within the national park "Onezhskoe Pomorie", the rivers are important as water sources for local villages and as places of fish breeding, so the damage will be very sufficient from the eutrophication induced. Conclusion is produced that

basins, where discharge-transit process prevails, are key places for nature conservation because of either their strong impact on downstream basins or the largest percentage (42%) of old-growth forests with rare species of flora and fauna localized within such transit basins.

Keywords: basin GIS-modelling, types of small basins, prediction of forestry consequences, old-growth boreal forests, conservation value of ecosystems

REFERENCES

1. Aksenov D.E., Dobrynin D.V., Dubinin M.Yu., Egorov A.V., Isaev A.S., Karpachevskii M.L., Lestadius L.G., Potapov P.V., Purekhovskii A.Zh., Turubanova S.A., Yaroshenko A.Yu. *Atlas malonarushennykh lesnykh territorii Rossii* [Atlas of Russia's Intact Forest Landscapes]. Moscow: MSoES, 2003. 186 p.
2. *Atlas Arkhangel'skoi oblasti* [Atlas of Arkhangelsk Oblast]. Moscow, 1976. 176 p.
3. Vladimirova N.A., Milakovskii B. Investigation of the influence of roads and logging on the fire regime of forests in the south of the Far East. *Agrarnyi Vestn. Primor'ya,* 2016, no. 1, pp. 6–8. (In Russ.).
4. Volkov A.E., Volkova E.V. Studying the state of populations of rare species of birds of the Onezhskoe Pomorie National Park. In *Nauchnye issledovaniya redkikh vidov rastenii i zhivotnykh v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Rossiiskoi Federatsii za 2005–2014* [Scientific Research of Rare Species of Plants and Animals in Reserves and National Parks of the Russian Federation for 2005–2014]. Ochagov D.M., Ed. Moscow: VNII Ekologiya, 2015, vol. 3, pp. 434–437. (In Russ.).
5. Volkov A.E., Volkova E.V. Preliminary results of the study of populations of the freshwater pearl mussel from streams of the Lopshenga River basin on Onega Peninsula in Arkhangelsk oblast. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci,* 2017, vol. 44, pp. 14–18. doi 10.1134/S1062359017010174
6. Volokitina A.V. Features of the distribution of rainfall under the canopy of a coniferous forest. *Lesovedenie*, 1979, no. 2, pp. 40–48. (In Russ.).
7. *Vyyavlenie i obsledovanie biologicheski tsennykh lesov na Severo-Zapade Evropeiskoi chasti Rossii* [Identification and Examination of Biologically Valuable Forests in the North-West of the European Part of Russia]. Vol. 2: *Posobie po opredeleniyu vidov, ispol'zuemykh pri obsledovanii na urovne vydelov* [Guide to Identifying Species Used in Site-Level Study]. Anderson L., Alekseeva N.M., Kuznetsova E.S., Eds. St. Petersburg: Pobeda Publ., 2009. 258 p.
8. Grishchenko O.I. Hazardous weather phenomena in the context of climate change in the Arkhangelsk oblast and the Nenets Autonomous Okrug. *Cand. Sci. (Geogr.) Disseration*. St. Petersburg: Voeikov Main Geophysical Observatory, 2011. 189 p.
9. Il'intsev A.S., Aleinikov A.A. Dynamics of forest cover in the north-taiga region within the Arkhangelsk oblast according to the Global Forest Change. In *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyaistve i ekologii: dokl. VI Vseross. Konf.* [Aerospace Methods and Geoinformation Technologies in Forest Science, Forestry, and Ecology: Proc. VI All-Russia Conf.]. Moscow: TsEPL RAN, 2016, pp. 173–178. (In Russ.).
10. Isachenko A.G. *Landshafty SSSR* [Landscapes of the USSR]. Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1985. 320 p.
11. Kal'berg E.A. *Geologicheskoe opisanie Onezhskogo p-va (List Q-37 V.G. Yuzhnaya chast')* [Geological Description of the Onega Peninsula (Sheet Q-37 V.G. Southern Part)]. Leningrad: Gostoptekhizdat Publ., 1940. 62 p.
12. Karpechko Yu.V., Bondarik N.L. *Gidrologicheskaya rol' lesokhozyaistvennykh i lesopromyshlennykh rabot v taezhnoi zone evropeiskogo Severa Rossii* [The Hydrological Role of Forestry and Forestry Operations in the Taiga Zone of the European North of Russia]. Petrozavodsk: Karel. Nauchn. Tsentr RAN, 2010. 225 p.
13. Korotkov V.N., Pchelkin A.V. Primary information on the lichen biota of the Onezhskoe Pomorie National Park. *Vestn. Severnogo (Arkticheskogo) Federal. Univ. Ser.: Estestvennye Nauki,* 2016, no. 3, pp. 35–44. (In Russ.).
14. Korotkov V.N. Species and coenotic diversity of intact forests of the Onezhskoe Pomorie National Park. In *Printsipy i sposoby sokhraneniya bioraznoobraziya: mater. VI Vseross. konf.* [Principles and Methods of Biodiversity Conservation: Proc. VI All-Russia Conf.]. Yoshkar-Ola: Mariiskii Gos. Univ., 2015, pp. 169–171. (In Russ.).
15. Korytnyi L.M. *Basseinovaya kontseptsiya v prirodopol'zovanii* [Basin Concept in Natural Recourse Use]. Irkutsk: Inst. Geogr. SO RAN, 2001. 163 p.
16. *Krasnaya kniga Arkhangel'skoi oblasti* [The Red List of the Arkhangelsk Region]. Arkhangelsk: Severnyi (Arkticheskii) Fed. Univ., 2020. 490 p.
17. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby)* [The Red List of the Russian Federation (Plants and Mushrooms)]. Moscow: KMK Publ., 2008. 855 p.
18. Kulyasova A.A., Kulyasov I.P. Transformation of the traditional natural recourse use of Pomors and the Pomorian fishing collective farm: past and present. In *Programma sotrudnichestva v oblasti ustoichivogo razvitiya i ekologicheskogo menedzhmenta SPbGU* [Program of Cooperation in the Field of Sustainable Development and Environmental Management of St. Petersburg State University]. St. Petersburg: S.-Peterb. Gos. Univ., 2008, pp. 40–45. (In Russ.).
19. Novakovskii B.A., Simonov Yu.G., Tul'skaya N.I. *Ekologo-geomorfologicheskoe kartografirovanie Moskovskoi oblasti* [Ecological and Geomorphological Mapping of the Moscow Oblast]. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2005. 72 p.
20. Onuchin A.A. The reasons for conceptual contradictions in evaluating hydrological role of boreal forests. *Sibirskii Lesnoi Zh.*, 2015, no. 2, p. 41–54. (In Russ.).
21. Pobedinskii A.V. *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* [Water Protection and Soil Protection Role of Forests]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1979. 174 p.

22. Pobezhimov A.I. The population of the pomor part of the Turchasovsky camp of the Kargopolsky district at the beginning of the XVIII century. *Vestn. Tomsk. Gos. Univ. Istoriya,* 2016, no. 3, pp. 11–15. (In Russ.).

23. Pokrovskaya I.V., Bragin A.V., Sobolev N.A. The Dvina-Onega bird-flight corridor: the area of special natural value and non-standard conservation management. In *Prirodnoe nasledie Rossii.* [Natural Heritage of Russia]. Penza: Penz. Gos. Univ., 2017, pp. 243–244. (In Russ.).

24. Rubtsov M.V., Deryugin A.A., Salmina Yu.N., Gurtsev V.I. *Vodoreguliruyushchaya rol' taezhnykh lesov* [The Water Regulatory Role of Taiga Forests]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1990. 223 p.

25. Savich A. *Solovetskaya votchina XV–XVII vv. (Opyt izucheniya khozyaistva i sotsial'nykh otnoshenii)* [Solovetsky Patrimony of the XV–XVII Centuries (Study of the Economy and Social Relations)]. Perm': O–vo Istorii, Filosofii i Sotsialn. Nauk pri Perm. Gos. Univ., 1927. 280 p.

26. Simonov Yu.G., Simonova T.Yu. River basin and basin organization of the geographical shell. In *Eroziya pochv i ruslovye protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. Moscow, 2003, vol. 14, pp. 7–32. (In Russ.).

27. Sokolova L.A. Materials for the geobotanical zoning of the Onego-Severodvinsk watershed and Onega Peninsula. *Tr. Bot. Inst. Akad. Nauk SSSR, Ser. 3: Geobotanika,* 1937, no. 2, pp. 9–80. (In Russ.).

28. *Sokhranenie tsennykh prirodnykh territorii Severo-Zapada Rossii. Analiz reprezentativnosti seti OOPT Arkhangel'skoi, Vologodskoi, Leningradskoi i Murmanskoi oblastei, Respubliki Karelii, Sankt-Peterburga* [Preservation of Valuable Natural Territories of the North-West of Russia. Analysis of the Representativeness of the Network of Protected Areas of the Arkhangelsk, Vologda, Leningrad and Murmansk Oblasts, the Republic of Karelia, St. Petersburg]. Kobyakova K.N., Ed. St. Petersburg.: Kol'skii Tsentr Okhrany Dikoi Prir., 2011. 506 p.

29. Subbotin A.I., Dygalo V.S. *Eksperimental'nye gidrologicheskie issledovaniya v basseine r. Moskvy* [Experimental Hydrological Studies in the Moscow River Basin]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1991. 263 p.

30. Turubanova S.A., Krylov A.M., Potapov P.V., Tyukavina A.Yu. Forest dynamics in eastern Europe (1985–2012) using Landsat data archive. *Russ. J. Ecosyst. Ecol.*, 2017, vol. 2(1). (In Russ.). doi 10.21685/2500-0578-2017-1-3

31. Fedorov V.N., Terent'ev I.I. Landscape-hydrological approach to the study of the structure of water balance and runoff and assessment of its characteristics from the lands of small catchments and river basins. In *Voprosy geografii*. Sb. 133: *Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Problems of Geography. Vol. 133. Geographic and Hydrological Research]. Moscow: Kodeks Publ., 2012, pp. 95–116. (In Russ.).

32. *Ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie i osnovnye polozheniya Skhemy organizatsii i razvitiya Natsional'nogo parka "Onezhskoe Pomor'e"* [Environmental and Economic Rationale and the Main Statements of the Scheme of Organization and Development of the Onezhskoe Pomorie National Park]. Torkhov S.V., Chervyakov O.V., Eds. Petrozavodsk: Natsional'nyi Park "Vodlozerskii", 1999, vol. 1. 149 p.

33. Arienti M.C., Cumming S.G., Krawchuk M.A., Boutin S. Road network density correlated with increased lightning fire incidence in the Canadian western boreal forest. *Int. J. Wildland Fire,* 2010, vol. 18, no. 8, pp. 970–982.

34. Baxter E.V. *Distributed Hydrologic Modeling.* London: Kluwer Academic Publ., 2005. 312 p.

35. Buttle J.M. The effects of forest harvesting on forest hydrology and biogeochemistry. In *Forest Hydrology and Biogeochemistry.* Dordrecht: Springer, 2011, pp. 659–677.

36. Danielson J.J., Gesch D.B. *Global Multi-Resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010)*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1073, 2011. 26 p.

37. Dymov A.A. The impact of clearcutting in boreal forests of Russia on soils: A review. *Eurasian Soil Sci.,* 2017, vol. 50, no. 7, pp. 780–790.

38. Evans I.S. Land surface derivatives: History, calculation and further development. *Proc. Geomorphometry,* 2013, pp. 850–853.

39. Guillemette F., Plamondon A.P., Prevost M., Lévesque D. Rainfall generated stormflow response to clearcutting a boreal forest: peak flow comparison with 50 world-wide basin studies. *J. Hydrol.,* 2005, vol. 302, pp. 137–153.

40. Guisan A., Weiss S.B., Weiss A.D. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 1999, vol. 143, no. 1, pp. 107–122.

41. Hansen M.C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 2013, vol. 342, no. 6160, pp. 850–853.

42. Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2001, 3rd ed. 501 p.

43. Kormos C.F., Mackey B., DellaSala D.A., Kumpe N., Jaeger T., Mittermeier R.A., Filardi C. Primary forests: Definition, status and future prospects for global conservation. In *The Encyclopedia of the Anthropocene*. DellaSala D.A., Goldstein M.I., Eds. Oxford: Elsevier, 37, vol. 2, pp. 31–41.

44. MacMillan R.A., Shary P.A. Landforms and landform elements in geomorphometry. In *Geomorphometry Concepts, Software, Applications*. Hengl T., Reuter I.H., Eds. Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 227–254.

45. Moore R.D., Wondzell S.M. Physical hydrology and the effects of forest harvesting in the Pacific Northwest: A review. *J. Amer. Water Resour. Assoc.,* 2005, vol. 41, pp. 763–784.

46. Olaya V. Basic land-surface parameters. In *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 141–169.

47. Paillet Y., Archaux F., Boulanger V., Debaive N., Fuhr M., Gilg O., Gosselin F., Guilbert E. Snags and large trees drive higher tree microhabitat densities in strict forest reserves. *Forest Ecol. Manag.,* 2017, vol. 389, pp. 176–186.

48. Richards J.A., Xiuping J. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, 4th ed. 454 p.

49. Smerdon B.D., Redding T.E., Beckers J. An overview of the effects of forest management on groundwater hydrology. *BC J. Ecosystems and Management*, 2009, vol. 10, no. 1, pp. 22–44.

50. Vuidot A., Paillet Y., Archaux F., Gosselin F. Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats. *Biol. Conserv.,* 2011, vol. 144, no. 1, pp. 441–450.

51. Wallenius T.H. Forest age distribution and traces of past fires in a natural boreal landscape dominated by Picea abies. *Silva Fenn.,* 2002, vol. 36, no. 1, pp. 201–211.

52. Wang A.-F. *Effect of Waterlogging on Boreal Forest Tree Seedlings during Dormancy and Early Growing Season*. Dissertationes Forestales, no. 224, 2016. 41 p. doi 10.14214/df.224

53. Watson J.E.M., Evans T., Venter O., Williams B., Tulloch A., Stewart C., Thompson I., Ray J.C., Murray K., Salazar A., McAlpine C., Potapov P., Walston J., Robinson J.G., Painter M., Wilkie D., Filardi C., Laurance W.F., Houghton R.A., Maxwell S., Grantham H., Samper C., Wang S., Laestadius L., Runting R.K., Silva-Chávez G.A., Ervin J., Lindenmayer D. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat. Ecol. Evol.,* 2018, no. 2, pp. 599–610.