

Научная статья

УДК 630*58:528.8

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.33>

EDN: HCHNEU

Пространственный анализ ограничений сплошных рубок леса на водосборных бассейнах с использованием материалов дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий

А. Ю. Боровлёв[✉], В. В. Елсаков

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация, 167000, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
borovlev.a.yu@ib.komisc.ru[✉]

Аннотация. *Введение.* Лесозаготовительная деятельность существенно влияет на важнейшие функции лесных экосистем. Интенсификация лесного хозяйства подразумевает не только увеличение объёмов заготовки леса, но и обоснованное планирование, контроль реализуемой деятельности по восстановлению участков рубок. Реализация таких мероприятий основывается на учёте ландшафтно-экологических особенностей территории, на которой происходит хозяйственная деятельность. Минимизация негативного воздействия рубок леса на экосистемы учтена в Лесном кодексе, в стандартах лесопользования независимых систем добровольной лесной сертификации. *Цель* исследований – разработка и анализ применимости отдельных параметров оценки состояния лесозаготавливаемых участков в ранжировании рисков, возникающих при заготовке древесины. *Объекты и методы.* Основное внимание уделено количественным показателям, которые можно обрабатывать методами статистического анализа. Набор предложенных величин опирается на использование геоинформационных методов, данных дистанционного зондирования Земли, инструментов пространственного анализа. На примере анализа пространственных данных активно осваиваемых лесных территорий бассейнов рек Большая Визинга, Кобра, Лопью, Нившера, Низьма Республики Коми предложены дополнительные критерии мониторинга и оценки возможных рисков, возникающих в процессе рубки леса. *Результаты.* В соответствии с целью выделены следующие критерии оценки состояния лесозаготавливаемых участков: 1) локализация рубок в сети охраняемых участков; 2) площади сплошных рубок; 3) наличие малонарушенных лесных территорий вблизи планируемого участка промышленного освоения; 4) мозаичность лесной среды; 5) показатель сохранения водорегулирующей функции лесов. Все измеряемые параметры территориально привязаны к естественным ландшафтным контурам, включённым в единый водосборный бассейн. *Выводы.* Все вышеуказанные критерии могут быть использованы в качестве дополнительной оценки участков лесохозяйственной деятельности, мониторинге освоения территорий, а также при ландшафтно-экологическом планировании. Критерии тесно связаны с требованиями добровольной лесной сертификации и позволяют минимизировать негативное воздействие на экологические функции лесных ландшафтов при интенсификации лесного хозяйства.

Ключевые слова: устойчивое лесопользование; добровольная лесная сертификация; ГИС-анализ; сплошная рубка; ландшафтно-гидрологический подход

Финансирование: статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках реализуемого на базе НИУ «Высшая школа экономики» проекта № 24-68-00055 «Из прошлого в будущее: сельские сообщества в условиях постаграрного вектора трансформаций».

Для цитирования: Боровлёв А. Ю., Елсаков В. В. Пространственный анализ ограничений сплошных рубок леса на водосборных бассейнах с использованием материалов дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2025. № 1 (65). С. 33–45. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.33>; EDN: HCHNEU

Введение

Если рассматривать процесс рубки леса как фактор антропогенного преобразования ландшафта, общее негативное воздействие можно классифицировать по тем функциям, на которые оказывается наиболее сильное влияние: средообразующая (или сохранение биоразнообразия), водорегулирующая и почвозащитная [1]. Для снижения экологических последствий лесохозяйственной деятельности на всех этапах – начиная от планирования рубки во время отвода участка и заканчивая рекультивационными работами в последующие годы после промышленного освоения, разработаны стандарты лесопользования, которые включают в себя наборы различных характеристик. Фундаментальной основой для использования таких параметров служат как признанные схемы сертификации (*FSC* и *PEFC*), так и введенная в 2022 году в России добровольная лесная сертификация «Лесной эталон»¹. Вышеуказанные системы контроля за поддержанием устойчивого лесного хозяйства обязывают проводить как внутренние (силами самого предприятия), так и внешние (со стороны контролирующих органов) аудиты. Сопутствующие рекомендации для разработки стратегического и тактического планов по управлению биоразнообразием требуют комплексного подхода в оценке антропогенной и естественной динамик ландшафта. Измеряемые показатели для такого анализа законодательно не определены.

Целью настоящего исследования является разработка и анализ применимости отдельных параметров оценки состояния лесозэксплуатируемых участков в ранжировании рисков и ограничений, возникающих в процессе сплошных рубок леса. В случае успешного выбора показателей возможна дальнейшая интеграция мето-

дики в процессы внутренних и внешних аудитов лесной сертификации. Под рисками, в данном случае, понимаются как нарушения лесного законодательства (сплошные рубки в защитных лесах и на охраняемых участках), так и негативное влияние лесохозяйственной деятельности на компоненты ландшафта. Параметры могут быть систематизированы по нескольким свойствам: во-первых, по возможности осуществления контроля исполнения регламентирующих требований с привлечением геоинформационных систем пространственных данных и ГИС-анализа; во-вторых, возможностью количественной оценки интенсивности воздействия (анализ площадей, концентрации рубок и т. д.). Поскольку площадь как количественная характеристика оценивается методом геоанализа, возникает необходимость представить показатель как массив геоданных, включающих сопутствующую информацию:

- отсутствие сплошных вырубок в сети охраняемых участков;
- вырубки на малонарушенных лесных территориях;
- сохранение мозаичности лесной среды;
- поддержание водорегулирующей функции на уровне водосборного бассейна.

Границы арендуемых лесных участков предприятий чаще всего привязаны к искусственному разделению территории (административные районы, участковые лесничества, квартальная сеть), поэтому наиболее приемлемой единицей анализа при территориальной оценке ландшафтов является водосборный бассейн.

Объекты и методы исследования

Материалами для геоаналитических исследований выступали открытые данные о заготовке леса на территории (лесохозяйственные регламенты, современная съёмка спутников *Landsat* и *Sentinel*, информация о ежегодных лесных потерях, полученная в рамках проекта *Global Forest Watch* [2], а также прочая доступная информация в формате геоданных).

¹ Система добровольной лесной сертификации «Лесной эталон» // [Собственные стандарты системы «Лесной эталон»]. URL: <https://forest-etalon.org/documents> (дата обращения: 10.10.2024).

Обработку данных проводили на основе свободно распространяемого программного обеспечения (*QuantumGIS*). В качестве модельного региона выбрана центральная часть Республики Коми, где характерна интенсивная заготовка древесины. Как было описано выше, территориальный анализ опирается на ландшафтно-гидрологический подход, поэтому в качестве географической основы была выбрана сеть водосборных бассейнов рек региона. Границами охвата стали реки Пинега (верхнее и среднее течение), Юг (нижнее течение), Молома (нижнее и среднее течение), Вятка (нижнее и среднее течение), Кама (среднее течение) и Вишера (рис. 1). Ландшафтной единицей анализа обозначен водосборный бассейн, ограниченный либо водораздельными линиями, либо берегами рек. Для территории был подготовлен векторный слой с контурами водосборных бассейнов на основе информации, представленной

в топографических картах масштаба 1:1 000 000 и цифровой модели рельефа *SRTM 90* (открытый источник данных www.viewfinderpanoramas.org) [3]. Подготовленная географическая основа позволяет выбрать модельные водосборные бассейны реки, в рамках которых осуществима разработка методики по определению измеряемых параметров оценки рисков в результате сплошных рубок. Создание контуров водосборных бассейнов крупных рек (на рис.1 – пронумерованы) состояло из двух этапов – ручная оцифровка топографических карт, а также автоматическое формирование границ в программе *SAGA GIS 9.5.1*. Векторный слой ручной оцифровки использовался для проверки качества итоговых данных автоматической обработки цифровой модели рельефа, в первую очередь – для редактирования ошибочных контуров, возникающих из-за артефактов растровой модели *SRTM 90*.

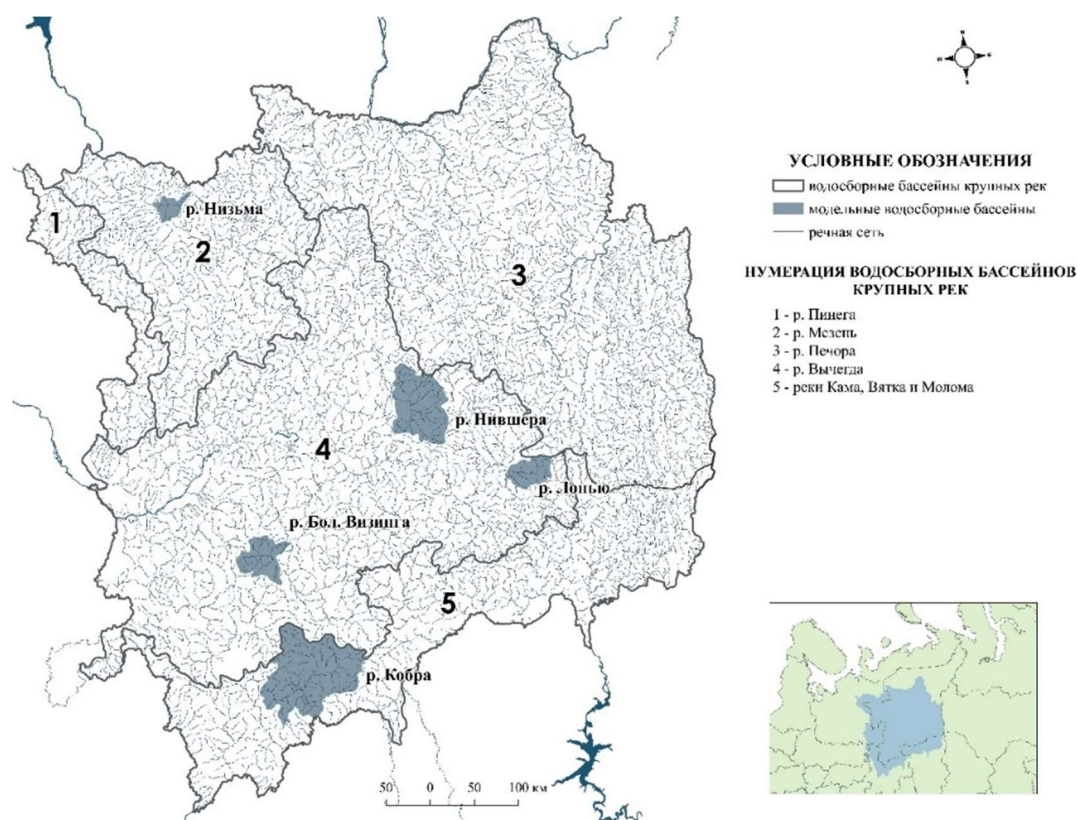


Рис. 1. Выделенная зона исследования на основе водосборных бассейнов крупных рек, а также модельные водосборные бассейны

Fig. 1. Designated research area based on the catchment basins of large rivers, as well as model catchment basins

Следующий этап заключался в выделении модельных водосборов – определении меньших по площади участков, для территории которых будет произведён более детальный анализ. Модельные бассейны притоков крупных рек подбирались по критериям:

- водосборный бассейн реки имел протяжённость более 50 км;
- участки имели различные по степени освоения территории (активное пионерное освоение, рубки «советского» периода, наличие давно освоенных участков, включая земли с/х назначения);
- наличие лесов высокой природоохранной ценности (малонарушенные лесные территории, ключевые орнитологические территории, девственные леса, водоохранные полосы лесов и т. д.);
- присутствие масштабных концентрированных рубок последних лет;
- различия географического положения.

Для проведения исследований экспертным путём отобраны модельные водосборные бассейны рек: Низьма (приток Мезени первого порядка), Большая Визинга (приток Вычегды второго порядка), Лопью и Нившера (притоки Вычегды первого порядка), Кобра (приток Вятки первого порядка). Дополнительно каждый из отобранных водосборных бассейнов был сегментирован по границам водосборных площадей притоков первого порядка (элементарные водосборные бассейны) [4].

Последующий анализ отдельных параметров оценки состояния лесозапользуемых участков (расчёт площадей лесосек, выявление сплошных рубок в сети охраняемых участков и малонарушенных лесов, а также оценка мозаичности) требовал использование мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли. В первую очередь, использовались открытые данные проекта *Global Forest Watch* [2]. Это растровые модели, позволяющие оценить лесные потери различной природы (пожары, ветровалы, сплошная рубка леса) за период с 2000 го-

да. Преобразование данных в векторный формат определяет возможность получения площадной информации о ежегодных потерях лесных экосистем. Параметр мозаичности водосборного бассейна подразумевал классификацию территории по типам ландшафтов. Для этого обрабатывались мультиспектральные космоснимки платформ Landsat 8 и Sentinel 2A периода 2022–2023 гг. Даты спутниковых изображений охватывали вегетационный сезон с июня по сентябрь, когда существовала возможность осуществить классификацию земель. Для работы использовалась комбинация каналов видимого красного, зелёного и ближнего инфракрасного диапазонов электромагнитного излучения.

Анализ показателя «отсутствие сплошных рубок в сети охраняемых участков»

Согласно п. 2 Статьи 111 Лесного Кодекса РФ выделяются следующие категории защитных лесов: леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях; леса, расположенные в водоохраных зонах; леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов; ценные леса; городские леса². Эти леса играют важную роль в поддержании экосистемных функций. Проведение сплошных рубок в защитных лесах допускается при строительстве, реконструкции, эксплуатации объектов, не связанных с лесной инфраструктурой и в случаях, если выборочные рубки не обеспечивают замену лесных насаждений, утрачивающих свои средообразующие, водоохранные, санитарно-гигиенические, оздоровительные и иные полезные функции, на лесные насаждения, обеспечивающие сохранение целевого назначения защитных лесов и выполняемых ими по-

² Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 29.12.2022). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/507ec1491677c2ce1db9eb350e0147e5fa9e8ba7/ (дата обращения: 19.03.2023).

лезных функций, если иное не установлено настоящим Кодексом³.

Оценка параметра связана с выявлением наличия сплошных концентрированных вырубок в сети охраняемых участков. Процедура реализуема в рамках проведения пространственного анализа. Входными данными являются границы защитных лесов и контура лесосек. Для получения информации о наличии защитных лесов на исследуемой территории можно использовать регламенты лесничеств региона, часто представленные отсканированными картами. Для корректного использования необходима пространственная привязка материалов растровых данных в картографической системе координат. В основе процесса пространственной привязки лежит использование имеющихся данных с существующей географической привязкой к местности (целевые данные). Это могут быть как базовые карты, WMS-слои, космоснимки, а также географически «привязанные» векторные объекты. В качестве идентификаторов местоположений могут использоваться визуально дешифрируемые объекты – пересечения дорог или водотоков, устья рек, обнажения горных пород, углы улиц или площадей, пересечения лесозащитных полос. В рамках исследования применялась полиномиальная трансформация. Она использует построение полинома на основе опорных точек и алгоритм подбора методом наименьших квадратов (*LSF*) [5]. После пространственной привязки контуры сети охраняемых участков были оцифрованы и переведены в векторный формат. Следующий этап – анализ сплошных вырубок.

³ О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования правового регулирования отношений, связанных с обеспечением сохранения лесов на землях лесного фонда и землях иных категорий: Федеральный закон от 27.12.2018 № 538-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314666/ (дата обращения: 19.03.2023).

Количественные данные о сплошных рубках

Показатели можно получить посредством как ручной оцифровки, так и автоматической классификации данных космосъёмки. Существуют и готовые данные, позволяющие упростить методику и уменьшить затраченное время на создание ГИС-слоёв. В рамках исследования площади вырубок были получены из материалов, разработанных проектом *Global Forest Watch* [2]. Растровые геоданные содержат информацию о лесных потерях с 2000 по 2024 гг.

Перед этапом оценки критерия подготовленные растры были переведены в векторный формат и проведена их экспертная оценка, позволившая убрать погрешности (например, артефакты анализа) и классифицировать лесные потери на три категории: рубки, пожары и прочие потери (ветровалы, окна вывала) (рис. 2, б). Поскольку параметр заключается в выявлении сплошных вырубок на территориях сети охраняемых участков, прочие лесные потери были удалены из анализа. Статистические данные были получены геометрическим пересечением векторных слоёв сети охраняемых участков и лесных потерь в результате рубок леса. На территории модельных бассейнов доля охраняемых участков составила: р. Большая Визинга – 5,8; р. Лопью – 1,2; р. Нившера – 13,2; р. Низьма – 24,1; р. Кобра – 20,2 %.

Единственным модельным водосборным бассейном, на территории которого были выявлены крупные по площади массивы сплошных рубок на сети охраняемых участков, оказался бассейн р. Нившера (рис. 2, а). Вырубки на территории комплексного заказника «Сывьюдорский» датируются 2002–2004 гг. Значительная часть заказника не выполняет функцию обеспечения охраны ненарушенных лесов, и в связи с этим ставится вопрос о целесообразности функционирования особо охраняемой природной территории.

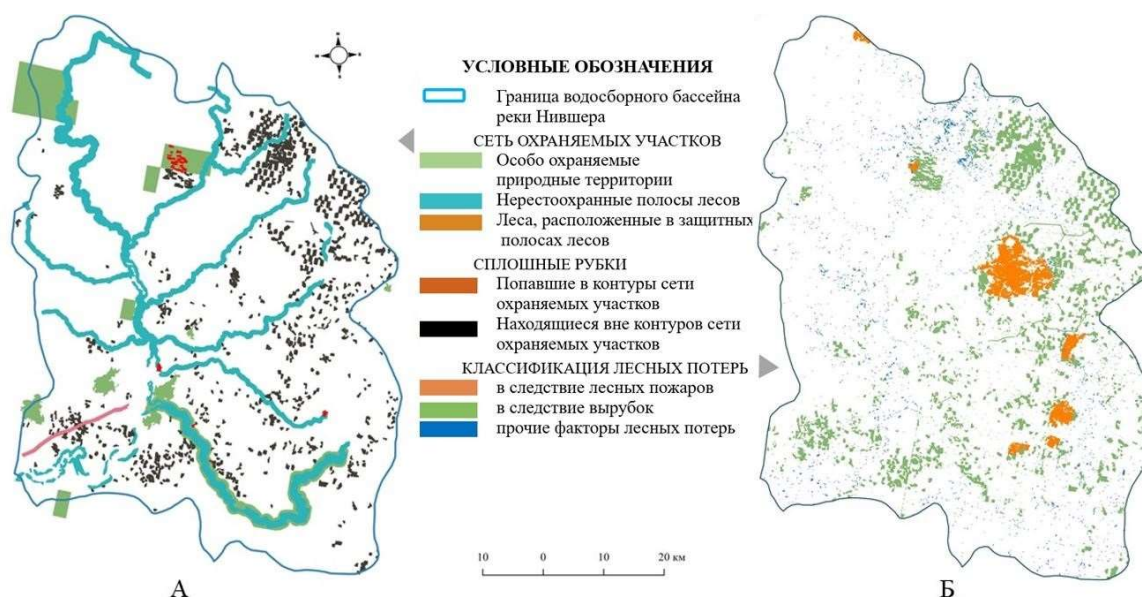


Рис. 2. Классификация рубок леса на сети охраняемых участков (А) и выявленные существующие лесные потери 2001–2021 гг. (Б) на территории модельного водосборного бассейна реки Нившера
 Fig. 2. Classification of logging on a network of protected areas (A) and identified existing forest losses in 2001–2021 (B) on the territory of the model catchment area of the Nivshera River

Показатель площади сплошных рубок на малонарушенных лесных территориях

Цель параметра заключается в количественном анализе первичного освоения лесных территорий. В рамках исследования географические данные о малонарушенных лесах взяты

из Атласа малонарушенных лесных территорий [6] (рис. 3). Количественные данные вырубленных территорий использовались те же, что и для предыдущего критерия. Совокупность данных позволила вычислить долю освоенных первичных лесов на территории элементарных водосборов (табл. 1).

Рис. 3. Карта-схема расположения малонарушенных лесных территорий в рамках выделенной зоны исследования (сост. автором на основе [6, с. 40])
 Fig. 3. The map of the location of intact forest areas within the designated research area (compiled by the author on the basis of [6, с. 40])

Таблица 1. Критерий освоения первичных лесов (малонарушенных лесных территорий) модельных водосборных бассейнов

Table 1. The criterion for the development of primary forests (intact forest areas) of model catchment areas

Модельный водосбор	Площадь, тыс. га	Доля малонарушенных лесов, %	Доля вырубок в первичных лесах, %
р. Большая Визинга	189,4	1,5	30,5
р. Лопью	134,9	2,1	–
р. Нившера	428,4	7,9	6,6
р. Низьма	68,6	96,3	3,9
р. Кобра	778,2	11,2	6,5

Показатель поддержания мозаичности лесной среды

Лесные экосистемы обладают выраженной структурированностью и сильной неоднородностью – пространственной мозаикой, состоящей из разрозненных в пространстве групп растений [7]. Единицей этой системы является совокупность деревьев, произрастающих на определённом участке. Согласно требованиям систем лесной сертификации, при сплошных рубках площадью более 10 га должен сохраняться мозаичный ландшафт в виде ветроустойчивых полос и куртин леса, а также ключевых местообитаний (биотопов). Также для поддержания мозаичности лесной экосистемы сама концентрация сплошных вырубок должна опираться на ландшафтные особенности территории. На этапе разработки методик оценки этого критерия автоматический анализ для мозаичности лесной среды вызвал ряд затруднений. В первую очередь, это связано с тем, что выявление, насколько учитывается мозаичность ландшафта при лесохозяйственной деятельности, опирается на экспертный подход и определяется путём ручной проверки входных данных. Дополнительно к этому нельзя исключать фактор подготовленности специалиста – два исполнителя могут оценить выполнение критерия на одинаковую территорию по-разному.

Первый этап разработки алгоритма анализа данного параметра включал в себя классификацию ландшафтов исследуемой территории. Анализ сохранения мозаичности территории опирается на систему поддержания природных ценностей –

совокупность мероприятий, обеспечивающих устойчивость экологических свойств леса в долговременной перспективе, в ходе ведения лесного хозяйства на управляемом лесном участке. В рамках исследования было принято решение унифицировать разнообразие ландшафтов, отталкиваясь от механизмов воздействия на лесные экосистемы. За основу классификации взята пирогенная динамика, дополненная антропогенным воздействием [3, 8]. Пожарная динамика лесов связана с периодическим полным или частичным выгоранием участка леса в результате пожара (возникшего в результате естественных или антропогенных причин). На разных территориях, в силу особенностей экосистемы, частота и характер пожаров и последующая сукцессия различны, что формирует своеобразную «мозаику» лесов (рис. 4). Территории модельных водосборов были разделены на следующие категории:

– территории, связанные с водными объектами. В класс входят как непосредственно все водные объекты (реки и озёра), болота, поймы, а также участки экосистем, приуроченные к переувлажнённым местообитаниям (например, приручейные или травяно-болотные типы леса, ельник-лог – территории соответствуют еловой беспожарной динамике);

– преобразованные территории. Территории, на которых не происходит сукцессионных изменений в результате антропогенеза (населённые пункты, используемые сельскохозяйственные земли);

– боровые террасы (сосновая пожарная динамика). Тип территории соответ-

ствуется сосновой пожарной динамике и характерен для сосняков лишайниковых, брусничных и черничных, расположенных на борových речных террасах с песчаными почвами;

– смешанные леса (динамика со смешанной породой). В класс входят оставшиеся типы пирогенных динамик – сосново-еловая, елово-лиственничная, а также – вырубки. Данные территории характеризуются смешанным хвойным и листвен-

ным древостоем, на них отмечен процесс лесовосстановления.

Классификация ландшафтных единиц осуществлялась экспертной оценкой на основе мультиспектральных данных космосъёмки *Sentinel 2A* с пространственным разрешением в 10 метров. После классификации территории модельных водосборных бассейнов был осуществлён расчёт доли площадей вырубок в каждом из типов ландшафтов (табл. 2).

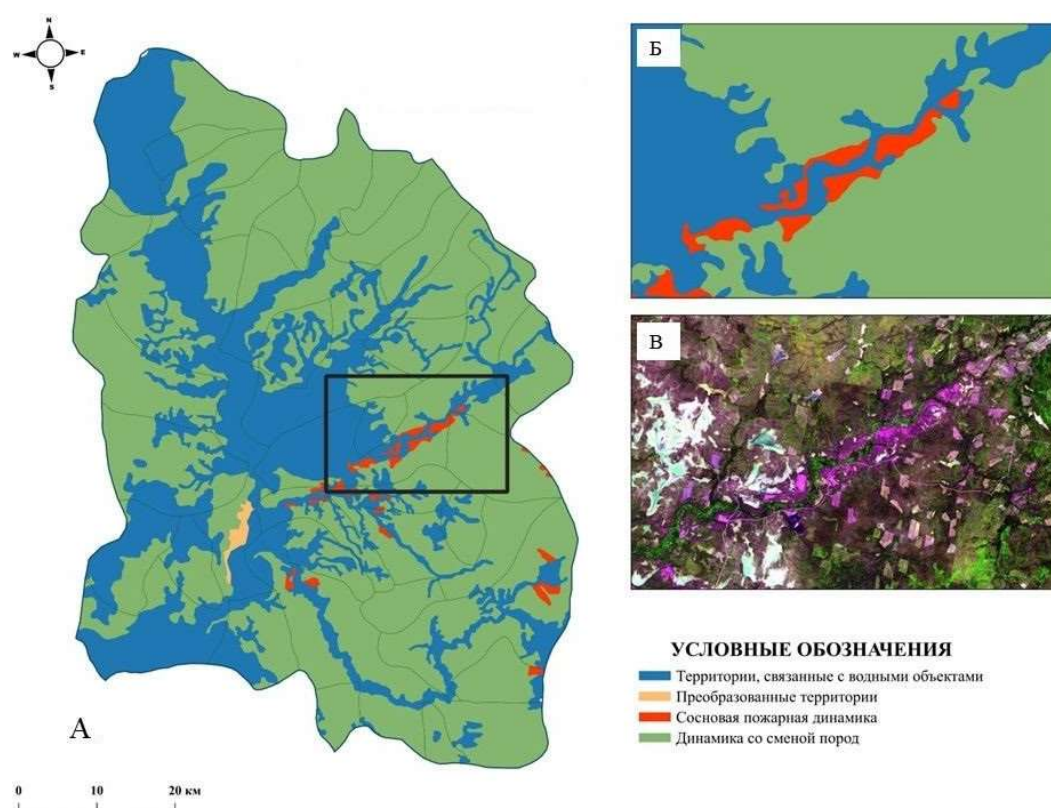


Рис. 4. Карта-схема классификации ландшафтов модельного водосбора реки Нившера (А – типы ландшафтов на территории, Б – выноска участка бассейна, В – космоснимок Sentinel 2A 2023 года на участок работ)

Fig. 4. The map of the classification of landscapes of the model catchment area of the Nivshera River (A – types of landscapes on the territory of the watershed, B – a callout of the basin area, C – a Sentinel 2A 2023 satellite image of the work site)

Таблица 2. Доля вырубок в каждом типе ландшафта модельных водосборных бассейнов (%)
Table 2. The proportion of deforestation in each type of landscape of the model catchment areas (%)

Тип ландшафта	р. Низьма	р. Лопью	р. Нившера	р. Большая Визинга	р. Кобра
Территории, связанные с водными объектами	0,2	0,1	0,4	0,0	0,0
Преобразованные территории	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Боровые террасы	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Смешанные леса	3,6	3,7	4,4	15,9	6,3
Суммарная доля рубок	3,8	4,1	4,8	15,9	6,3

Для второго этапа оценки мозаичности рубок была спроектирована полуавтоматическая методика. Алгоритм её реализации состоит из построения регулярной сети квадратов площадью 25 га (квадрат со стороной 500 метров). После формирования сетки в виде ГИС-слоя осуществляется векторный анализ взаимного расположения квадратов и слоя вырубок. Таким образом, в результате генерализации пространственных данных каждому квадрату присваивается значение доли рубок в каждом квадрате – 0; 25; 50; 75 и 100 %. Чем выше доля вырубок в квадратах и чем больше группа взаимно соприкасающихся квадратов, тем меньше вероятность сохранения мозаичности.

Показатель поддержания водорегулирующей функции на уровне водосборного бассейна

Влиянию сплошных рубок на гидрологический режим рек и территорий посвящено немало научных публикаций [1, 9, 10]. В результате механизированных сплошных рубок происходит ухудшение водно-физических свойств лесных почв, снижается их инфильтрационная способность, увеличивается поверхностный сток и, соответственно, усиливается эрозия почвы. На техногенно нарушенных участках вырубок, общая доля которых может достигать 30 % площади лесосеки, изменяются структура и физические свойства лесных почв, снижается их плодородие, вследствие этого происходит задержка лесовосстановительных процессов, снижается продуктивность вторичных древостоев [9]. Аналитическая оценка данного критерия заключается в вычислении доли площади вырубок на модельных водосборах. В рамках исследования количественный показатель водорегулирующей функции лесов подразумевал дробное деление модельного водосборного бассейна на элементарные водосборные бассейны. Согласно исследованиям [11, 12], при концентрации вырубок, занимающих более 50 % площади элементарного водосбора, происходит существенное изменение как

гидрологических характеристик водного объекта, так и водорегулирующей функции лесов в целом. В табл. 3 приведены расчёты доли сплошных вырубок на элементарных водосборах реки Большая Визинга. Основная роль параметра – выявить наиболее уязвимые с точки зрения дальнейшего освоения территории и осуществить более грамотное ландшафтно-экологическое планирование процесса заготовки древесины.

Таблица 3. Критерий поддержания водорегулирующей функции на примере модельного водосборного бассейна р. Большая Визинга (Жирным шрифтом выделены элементарные бассейны с наибольшей долей площадей вырубок*)

Table 3. Criterion of maintaining the water-regulating function on the example of a model catchment area of the Bolshaya Vizinga River. (Elementary basins with the largest proportion of cut areas are highlighted in bold*)

№ _{эв}	S _{басс} , тыс. га	S _{выр} , тыс. га	Доля вырубок, %
1	3,74	0,52	13,9
2	32,43	6,08	18,7
3	19,36	2,74	14,2
4	4,78	2,06	43,1
5	9,63	1,31	13,6
6	9,32	2,13	22,9
7	3,87	0,51	13,1
8	10,66	0,74	6,9
9	4,74	1,49	31,4
10	4,18	1,20	28,7
11	57,68	7,38	12,8
12	12,55	1,60	12,7
13	16,50	2,37	14,4
Итого	189,44	30,12	15,9

Примечание: *N_{эв} – порядковый номер элементарного водосбора в модельном водосборе; S_{басс} – площадь элементарного водосбора (в гектарах); S_{выр} – площадь вырубок в элементарном водосборе (в гектарах); доля – процентное соотношение вырубок от площади элементарного водосбора.

Результаты и их обсуждение

В результате проведённых исследований был выделен ряд критериев оценки рисков лесопользования на основе материалов дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий.

Подходы, используемые в работе, позволили создать набор пространствен-

ных данных, необходимых для анализа расположения и количества сплошных рубок на участках, требующих особого внимания при заготовке древесины.

В первую очередь, привязка и оцифровка лесохозяйственных регламентов, а также получение данных о лесных потерях и последующая обработка этой информации в ГИС является универсальным инструментом при мониторинге и выявлении сплошных рубок в сети охраняемых участков. Более того, включение в анализ контуров малонарушенных лесных территорий играет ключевую роль при внешней оценке деятельности предприятия в рамках систем сертификации лесопользования. Согласно стандартам добровольной лесной сертификации, предприятие должно поддерживать и/или улучшать малонарушенные лесные территории (как и другие высокие природоохранные ценности). В процессе принятия решений необходимо провести ландшафтно-экологическое планирование территории, которое позволит минимизировать воздействие на уязвимые экосистемы и первичные леса.

Классификация мультиспектральных спутниковых данных позволяет выделить различные типы ландшафтов на водосборе, необходимые для анализа мозаичности. Данный измеряемый показатель важен с точки зрения дальнейшего планирования лесохозяйственной деятельности – он позволяет учесть существующие нарушения мозаичности и минимизировать негативные риски, связанные с антропогенным воздействием на лесные экосистемы.

Выводы

Таким образом, в рамках исследования осуществлена попытка разработки подходов пространственного анализа для последующей оценки и минимизации последствий сплошных рубок леса на экологические характеристики ландшафтов. Набор выделенных параметров не является закрытым – при ландшафтно-экологическом планировании хозяйственной деятельности можно увеличивать

количество показателей. Например, оценивать площади деградировавших лесов после пожаров (характерно для территорий Сибири) или выявлять вырубки в редких экосистемах и биологически ценных лесах. Однако вышеуказанный список критериев является основным при оценке возникающих рисков. Нами выделены следующие базовые показатели:

Параметр оценки отсутствия сплошных рубок в сети охраняемых участков показателен в рамках внешних и внутренних аудитов. При ГИС-оценке действий предприятия на арендуемом лесном участке возможно оперативное выявление нарушений и их последующий анализ.

Параметр оценки рубок в первичных лесах (на малонарушенных лесных территориях) важен с точки зрения сохранения малонарушенных лесных территорий. Безусловно, промышленное освоение на таких территориях уменьшает саму площадь первичных лесов и параметр оценки позволяет анализировать количественные характеристики ландшафтов, а также выявлять нарушения на участке.

Параметр оценки поддержания мозаичности лесной среды важен с точки зрения грамотного планирования освоения с учётом уязвимости экосистемы. Унифицированная классификация типов ландшафтов позволяет рассмотреть количественные характеристики – доли площадей рубок в каждом ландшафте. При оценке лесохозяйственной деятельности важно использовать методики ландшафтно-экологического планирования для минимизации нарушения экосистемных функций. Дополнительным инструментом в анализе того, насколько сохраняется мозаичность, является возможность использования регулярных сетей и визуализации плотности расположения лесосек на ландшафте.

Параметр оценки поддержания водорегулирующей функции лесов на уровне водосборного бассейна служит индикатором возможных гидрологических изменений, связанных с концентрацией рубок

на элементарном водосборе. Данный критерий позволяет осуществить анализ антропогенного воздействия на модельный водосбор и разработать более грамотное ландшафтно-экологическое планирование рубок леса с учётом сохранения функций лесов на гидрологический режим.

Мониторинг использования природных ресурсов для заготовки древесины является важным инструментом для обеспечения устойчивости процессов промышленного освоения лесов и минимизации негативного воздействия на экосистемы. Внедрение использования данных дистанционного зондирования Земли позволяет получать актуальную информацию

о состоянии ландшафтов, локализации зон рубок и динамики процессов лесовосстановления. Интеграция ландшафтно-гидрологического подхода, который учитывает естественные границы экосистем, является универсальным методом – бассейновый метод является наиболее удобным способом осуществить пространственную оценку территории, а также реализовать методики экологического мониторинга. При возникновении проблем, связанных с решением задач рационального природопользования, именно бассейновый подход максимально адаптирует экологическую эффективность планирования антропогенной деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крестовский О. И. Влияние вырубки леса и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 117 с.
2. High-resolution global maps of 21-st-century forest cover change / M. C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore et al. // Science. 2013. Vol. 342, iss. 6160. Pp. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693
3. Никитенков А. Н., Дутова Е. А., Покровский Д. С. Картографические построения и оценка морфометрических параметров водосборов горно-складчатых территорий по данным спутниковой съемки (SRTM) (на примере северной части Кузнецкого Алатау) // Вестник ТГАСУ. 2013. № 1 (38). С. 223–231. EDN: PWWKQJ
4. Елсаков В. В., Щанов В. М. Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 4. С. 135–145. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-13-135-145; EDN: WMIXKJ
5. Лыгин А. Н. Применение RFID-технологии и ГИС в геодезии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. Т. 60, № 6. С. 105–110. EDN: XHARST
6. Атлас малонарушенных лесных территорий России / Д. Е. Аксенов, Д. В. Добрынин, М. Ю. Дубинин и др. М.: МСоЭС; Вашингтон: World Resources Inst., 2003. 187 с.
7. Володченкова Л. А., Гуц А. К. Математическое моделирование мозаичности лесных экосистем // Математические структуры и моделирование. 2020. № 4 (56). С. 49–63. DOI: 10.24147/2222-8772.2020.4.49-63; EDN: DPWNVD
8. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS / Ф. В. Стыценко, С. А. Баргалева, В. А. Егоров и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 1. С. 254–266. EDN: QIXEWV
9. Кучмент Л. С., Гельфан А. Н., Демидов В. Н. Модель гидрологического цикла лесного водосбора и оценка изменений водного баланса при рубке леса // Лесоведение. 2012. № 6. С. 3–13. EDN: PHFZUH
10. Jones J. A., Post D. A. Seasonal and successional streamflow response to forest cutting and regrowth in the northwest and eastern United States // Water Resources Research. 2004. Vol. 40, iss. 5. Art. W05203. DOI: 10.1029/2003WR002952
11. Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири / А. А. Онучин, Т. А. Буренина, Н. В. Зирюкина и др. // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 110–118. EDN: SLRSTV
12. Корытный Л. М. Бассейновый подход в географии // География и природные ресурсы. 1991. № 1. С. 161–166.

Статья поступила в редакцию 29.12.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2025; принята к публикации 12.03.2025

Информация об авторах

БОРОВЛЁВ Александр Юрьевич – инженер отдела флоры и растительности севера, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – ГИС-анализ, дистанционные методы исследований. Автор 18 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9072-2397>; SPIN-код: 2228-7743; AuthorID: 941581

ЕЛСАКОВ Владимир Валериевич – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела флоры и растительности севера, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – спутниковые методы исследований растительного покрова. Автор 200 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7111-5161>; SPIN-код: 7581-2681; AuthorID: 92267

Вклад авторов:

Боровлёв А.Ю. – разработка методики, выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Елсakov В.В. – постановка цели, задач, редактирование статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*58:528.8

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.33>

EDN: HCHHEU

Spatial Analysis of Limitations of Clearcutting in Catchment Areas Using Remote Sensing Data and GIS Technologies

A. Yu. Borovlev[✉], V. V. Elsakov

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167000, Russian Federation
borovlev.a.yu@ib.komisc.ru [✉]

Abstract. *Introduction.* Logging activities significantly affect the most important functions of forest ecosystems. Forestry intensification implies not only an increase in timber harvest volumes, but also informed planning and control over the implemented activities aimed at forest restoration in felled areas. The basis for carrying out these measures rests on taking into account the landscape-ecological features of the territory where the economic activity takes place. Minimization of the negative impact of logging on ecosystems is taken into consideration in the Forest Code and in the standards of forest management of independent systems of voluntary forest certification. *The purpose of the study* is to develop and analyze the applicability of individual parameters for assessing the condition of exploited forest sites in the ranking of risks associated with timber harvesting. *Materials and methods.* The main attention is paid to the quantitative indicators that can be processed using methods of statistical analysis. The set of proposed values is based on the use of geoinformation methods, remote sensing data, and spatial analysis tools. On the example of analyzing the spatial data on the actively developed forest areas in the basins of the rivers Bol. Vizinga, Kobra, Lopyu, Nivshera, and Nizhma of the Komi Republic, additional criteria have been proposed for monitoring and assessing possible risks arising in the wood logging process. *Results.* In accordance with the purpose of the study, the following criteria for assessing the condition of exploited forest areas have been identified: (1) logging localization in the network of protected areas, (2) areas of clearcuts, (3) presence of intact forest areas in the vicinity of a planned logging area, (4) the mosaic of forest environment, and (5) the indicator of preservation of the water-regulating function of forests. All measured parameters are territorially linked not to administrative or forestry boundaries but to the natural landscape contours included in a single watershed. *Conclusion.* All of the above parameters can be used as an additional assessment of forest management sites, in land development monitoring, as well as in landscape-ecological planning. The criteria are closely related to the requirements of voluntary forest certification and allow minimizing the negative impact on the ecological functions of forest landscapes in the context of forest management intensification.

Keywords: sustainable forest management; voluntary forest certification; GIS-analysis; clearcutting; landscape hydrology approach

Funding: this study was supported by the Russian Science Foundation grant no. 24-68-00055 “From the Past to the Future: Rural Communities in the Conditions of Post-Agricultural Vector of Transformations” implemented at the National Research University Higher School of Economics.

For citation: Borovlev A. Yu., Elsakov V. V. Spatial Analysis of Limitations of Clearcutting in Catchment Areas Using Remote Sensing Data and GIS Technologies. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2025;(1):33–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.33>; EDN: HCHHEU

REFERENCES

1. Krestovskiy O. I. The impact of deforestation and reforestation on river water content. Leningrad, Gidrometeoizdat; 1986. 117 p. (In Russ.).
2. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*. 2013;342(6160):850–853. DOI: 10.1126/science.1244693
3. Nikitenkov A. N., Dutova D. S., Pokrovskiy D. S. Cartography and estimation of morphometrical characteristics of river basins of mountain areas on the basis of SRTM data (exemplified by the northern part of Kuznetsky Alatau). *Journal of Construction and Architecture*. 2013;(1(38)):223–231. EDN: PWWKQJ (In Russ.).
4. Elsakov V. V., Shchanov V. M. Satellite data in analysis of changes in ecosystems of the Vychegda River basin. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2016;13(4):135–145. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-13-135-145145; EDN: WMIXKJ (In Russ.).
5. Lygyn A. N. Implementation of RFID-technologies in GIS and in a field of geodesy. *Proceedings of Higher Education Institutions. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2016;60(6):105–110. EDN: XHARST (In Russ.).
6. Aksenov D., Dobrynin D., Dubinin M. et al. Atlas of Russia's intact forest landscapes. Moscow, ISEU Publ.; Washington, World Resources Inst., 2003. 187 p.
7. Volodchenkova L. A., Guts A. K. Mathematical modeling of the mosaic of forest ecosystems. *Mathematical Structures and Modeling*. 2020;(4(56)): 49–63. DOI: 10.24147/2222-8772.2020.4.49-63; EDN: DPWNVD (In Russ.).
8. Stytsenko F. V., Bartalev S. A., Egorov V. A. et al. Post-fire forest tree mortality assessment method using MODIS satellite data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2013; 10(1):254–266. EDN: QIXEWV (In Russ.).
9. Kuchment L. S., Gelfan A. N., Demidov V. N. A model for the hydrological cycle of a forested catchment and assessment of the changes caused in water balance by cuttings. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*. 2012;(6):3–13. EDN: PHFZUH (In Russ.).
10. Jones J. A., Post D. Seasonal and successional streamflow response to forest cutting and re-growth in the northwest and eastern United States. *Water Resources Research*. 2004;40(5):W05203. DOI: 10.1029/2003WR002952
11. Onuchin A. A., Burenina T. A., Ziryukina N. V. et al. Impact of forest harvesting and forest regeneration on runoff dynamics at watersheds of Central Siberia. *The Siberian Forest Journal*. 2014;(1):110–118. EDN: SLRSTV (In Russ.).
12. Korytny L. M. Basin approach in geography. *Geography and Natural Resources*. 1991;(1):161–166. (In Russ.).

The article was submitted 29.12.2024; approved after reviewing 04.03.2025;
accepted for publication 12.03.2025

Information about the authors

Alexander Yu. Borovlev – Engineer, Department of Flora and Vegetation of the North, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests – GIS-analysis, remote sensing methods. Author of 18 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9072-2397>; SPIN: 2228-7743; AuthorID: 941581

Vladimir V. Elsakov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Department of Flora and Vegetation of the North, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests – satellite methods of vegetation research. Author of 200 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7111-5161>; SPIN: 7581-2681; AuthorID: 92267

Contribution of the authors:

Borovlev A. Yu. – development of methodology, performing experimental work, writing and preparing the article.
Elsakov V. V. – formulation of the research goal and objectives, editing the article

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.
All authors read and approved the final manuscript.