

Методика подбора арендной базы для организации лесозаготовительного производства

О.К. Даниленко

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

olgdanilenko@yandex.ru

orcid.org/0000-0002-1308-2813

Статья поступила 01.05.2026, принята 22.05.2026

В данной статье рассматривается сводный анализ цикла исследовательских работ, выполненных автором статьи по методике подбора лесосырьевых баз с учётом текущего уровня развития программных и цифровых инструментов, способах внедрения инструментов цифровизации и ГИС-программ в процессы лесопользования и ведения лесного хозяйства. Целью данной работы являлось обобщение как собственного опыта проведённых хозяйственных НИОКР, так и опыта проведения исследований других учёных по тематике выбора алгоритма подбора лесосырьевой базы для ведения лесозаготовительной деятельности. Анализ значительного количества научных публикаций по итогам научных исследований и направлений развития государственных программ указывает на перспективность рассматриваемого направления исследования. В процессе проведения исследовательских работ были выделены основные факторы, влияющие на процесс выбора участка лесного фонда для ведения лесозаготовительной деятельности с учётом различных методов ведения лесосечных работ. В процессе определены наиболее влиятельные факторы, предложен инструментарий для проведения оценки степени влияния показателей на итоговый результат выбора лесосырьевой базы. Для решения отдельных этапов предложена интеграция материалов дистанционного зондирования Земли с инструментами ГИС-программ для автоматизации процессов обработки и расчёта таких пространственных характеристик, как площадь лесного массива, корневой запас в м³ на 1 га, среднее расстояние вывозки с буферного склада, объём древесины целевой породы, произрастающей на анализируемом участке лесного фонда, степень и площадь повреждённости насаждения пожарами прошлых лет и оценка степени заражённости насаждений энтомовердителями. В процессе анализа также был выполнен морфометрический анализ участков лесного фонда, свободных от арендных отношений, а также исключены из анализируемых участков территорий со средне- и сильнопересечённым рельефом. В результате проведённых исследований автором статьи был произведён сбор аналитического материала, произведена его векторизация и оцифровка, анализ и обработка. Обработка материалов спутниковой съёмки на территорию Иркутской области осуществлялась в программе QGIS 3.44. В результате обработки с помощью бальной системы экспертных оценок произведено выделение наиболее перспективных участков лесного фонда с преобладанием целевой породы для организации лесозаготовительного производства с машинными методами заготовки сортиментов. Полученные результаты помогут с определением минимальных этапов изыскательских работ при решении задачи оперативного сбора информации о возможных к освоению лесосырьевых баз в условиях дефицита лесосырьевых ресурсов, доступных для ведения лесозаготовительной деятельности.

Ключевые слова: лесозаготовительное производство; лесной фонд; дистанционное зондирование Земли; лесосырьевая база.

Methodology for selecting a lease base for organizing logging production

O.K. Danilenko

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

olgdanilenko@yandex.ru

orcid.org/0000-0002-1308-2813

Received 01.05.2026, accepted 22.05.2026

The article presents a comprehensive analysis of a cycle of research studies conducted by the author on the methodology for selecting timber resource bases, taking into account the current level of development of software and digital tools, as well as methods for integrating digitalization tools and GIS programs into forest management and forestry processes. The aim of this work is to synthesize both the author's own experience from contractual research and development projects and the findings of other scholars on the selection of algorithms for choosing a timber resource base for logging activities. An analysis of a significant number of scientific publications on research outcomes and the development directions of state programs indicates the promising nature of this research area. During the research process, the key factors influencing the selection of a forest area for logging activities, considering various logging methods, are identified. The most influential factors are determined, and a set of tools is proposed to assess the degree of influence of these indicators on the final result of selecting a timber resource base. To address specific stages, the integration of Earth remote sensing materials with GIS program tools is proposed to automate the processing and calculation of spatial characteristics such as forest area, root stock in cubic meters per hectare, average hauling distance from a buffer warehouse, volume of target species timber growing in the analyzed forest area, the extent and area of past fire damage to stands, and the assessment of pest infestation levels in stands. During the analysis, a morphometric assessment of forest areas free from lease agreements is also performed, and areas with moderately and highly rugged terrain are excluded from the analysis. As a result of the conducted research, the author has collected analytical material, carried out its vectorization and digitization, analysis, and processing. The processing of satellite imagery data for the Irkutsk region

is performed using QGIS 3.44. Through the use of an expert scoring system, the most promising forest areas with a predominance of target species for organizing logging operations using mechanized timber harvesting methods are identified. The results obtained will help determine the minimum necessary survey steps for the rapid collection of information on potential timber resource bases available for development under conditions of a shortage of forest resources accessible for logging activities.

Keywords: logging production; forest fund; remote sensing of the Earth; forest raw material base.

Введение. Вопросы достоверной оценки лесосырьевых ресурсов являются на сегодняшний день одними из самых актуальных для грамотного управления лесозаготовительной и деревоперерабатывающей деятельностью. Несмотря на высокий уровень технического развития в сфере автоматизации процессов дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и глубокого внедрения геоинформационных систем в процессы обработки больших объёмов векторной и растровой информации, практическая применимость и внедрение в производственные процессы результатов научных исследований идёт очень медленными темпами. Высокая вариабельность внешнего вида древесных сообществ и узкая направленность научных достижений ограничивают возможности внедрения средств автоматизации в процессы дешифрирования снимков и материалов ДЗЗ [1, 2]. Низкий уровень квалификации лиц, ответственных за ведение автоматизированного дешифрирования, а также отсутствие нормативных документов, регламентирующих качество результатов автоматизированного дешифрирования, ведёт к частому возникновению ошибок при интерпретации материалов.

В частности при проведении сверок соответствия материалов актуализированных лесоустройств на территориях Черемховского, Балаганского, Качугского лесничеств, выполненных с помощью автоматизированных методов дешифрирования, с материалами натурных обследований лесосек, было выявлено значительное количество несоответствий, что требует уточнения и актуализации данных даже достаточно недавнего лесоустройства. Основным инструментом для актуализации данных лесного фонда является использование материалов дистанционного зондирования Земли [3, 4]. Услуги крупных организаций, выполняющих космический мониторинг лесных насаждений на коммерческой основе, большинству средних и мелких лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятий, в условиях санкционной политики и жёсткой экономии финансовых ресурсов, не доступны. Вследствие вышесказанного, подбор участка для заготовки лесоматериалов целевой породы становится достаточно сложной многоэтапной задачей, решение которой требует от специалиста лесной отрасли наличия знаний не только в сфере экономики и организации технологических процессов лесозаготовок, но и умения выполнять дешифрирование материалов космосъёмки, оперировать большим количеством инструментов и модулей геоинформационных систем, иметь понимание о работе инструментов кластеризации и векторизации.

Материалы и методы. Исходными материалами исследования являлись материалы дистанционного зондирования Земли различающиеся по сезонам года за период 2020–2026 гг., а также информация о транспортной сети, объектах гидрографии, а также о грани-

цах лесной квартальной и повыдельной сети в векторном формате, использование которых позволит оптимизировать процессы получения информации о состоянии лесосырьевой базы, а также позволит повысить эффективность оперативного управления процесса организации лесозаготовительного производства на указанных территориях.

Методика анализа состояния и оценки объёмов лесосырьевых ресурсов для ведения лесозаготовительной деятельности с использованием комплексного подхода включает следующие этапы:

1. Выбор участков лесного фонда (УЛФ) свободных от аренды в предельном радиусе вывозки лесоматериалов.
2. Анализ материалов дистанционного зондирования земли на свободные от аренды УЛФ для выделения наличия насаждений целевой породы и определения площадей под целевыми насаждениями.
3. Анализ топографических условий исследуемых участков.
4. Анализ почвенно-грунтовых условий территории исследуемых лесничеств.
5. Анализ транспортной инфраструктуры на исследуемых участках.
6. Сводный анализ по укрупнённым показателям с использованием бальной системы оценки.
7. Сопоставление результатов комплексной оценки насаждений с данными таксационных описаний на анализируемые территории, с целью выделения на исследуемых УЛФ особозащитных и запретных участков.
8. Уточнение породного состава и таксационных характеристик насаждений по материалам аэрофото-съёмки с использованием обученной нейронной модели.
9. Итоговый анализ возможных к заготовке объёмов древесины целевой породы.

В процессе практической реализации процедуры оценки объёмов лесосырьевых ресурсов часто встречаются следующие технические препятствия:

А. Отсутствие архивных данных космосъёмки на интересующую территорию в требуемом разрешении. Наличие большого количества информационно-аналитических платформ (например, EOSBrowser, USGS EarthExplorer, Роскосмос, СканЭкс и т. д. [23, 24]) не гарантирует, что в базе данных будут представлены материалы ДЗЗ за анализируемый период. Наличие возможности получения коммерческих снимков в данном случае значительно ускоряет процесс решения задачи, но высокая стоимость космоснимков высокого разрешения ограничивает их использование на этапе предварительного анализа территории.

Б. Сложности с получением от территориальных органов управления лесного хозяйства, по запросу от предприятий, материалов лесоустройства. Зачастую в территориальных органах управления лесного хозяйства в наличии представлены устаревшие материалы

лесоустройства. На рассматриваемых участках материалы лесосустройства были преимущественно 1990 г., на территории Черемховского лесничества 1977 г., и только на территории Балаганского лесничества были предоставлены данные лесосустройства 2022 г., что не отвечает требованиям актуальности данных. Большинство таксационных описаний, вследствие их частого использования, имеют значительную степень износа, и зачастую информация в таких материалах не читаема (рис. 1, рис. 2).

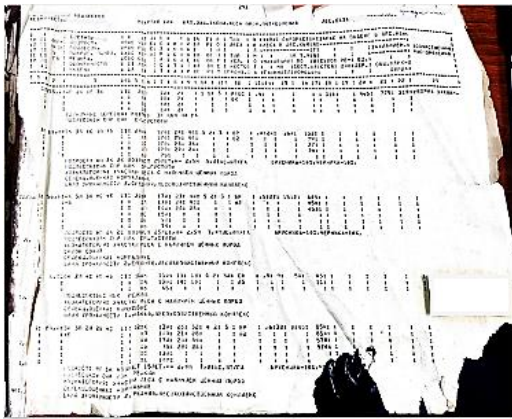


Рис. 1. Состояние материалов лесосустройства 1977 г. в части таксационного описания (фото выполнено авторами статьи)



Рис. 2. Состояние материалов лесосустройства 1977 г. в части графической части (планшеты) (фото выполнено авторами статьи)

На территории Черемховского лесничества арендаторами на арендуемые участки проводилось лесосустройство, однако территориальным органам управления лесного хозяйства они не предоставлялись.

Процесс дешифрирования космоснимков при подборе лесосырьевой базы (ЛСБ) заключался в идентификации объектов по их спектрально-текстурным характеристикам, определении их качественных и коли-

чественных параметров, а также установлении их роли в структуре ландшафта. Технология дешифрирования позволяет получить комплексную информацию о компонентах природной среды и антропогенной деятельности.

Методика дешифрирования материалов ДЗЗ включала этапы: предварительного анализа, подготовки, камерального дешифрирования и контроля. Процесс начинался с формирования контурной основы. Идентификацию классов лесов проводили на основе комбинации каналов SWIR (2185,7–2202,4 мкм), NIR (864,0–864,7 мкм) и RED (664,6–664,9 мкм), позволяющей отделять породы по интенсивности оттенка зеленого цвета на полученном изображении.

Применение комбинации спектральных каналов (NIR, Red, Green) (B5, B4, B3) для снимков Sentinel 2 L2A, известной как режим «искусственных» или «красных» цветов позволяет произвести глубокий анализ состояния лесной растительности на исследуемых участках. В данной комбинации спектральных каналов интенсивность красных оттенков служит индикатором жизнеспособности растительности [5, 7, 8]: насыщенный красный цвет свидетельствует о здоровом состоянии растительного покрова, тогда как более светлые тона указывают на присутствие травянистой растительности или редколесий. Почва при этом отображается в диапазоне от темно- до светло-коричневых или серых тонов, а снежный покров, лёд и облачность проявляются в белых или светло-голубых оттенках. Характерной особенностью является более темная, вплоть до коричневой, окраска сосновых, еловых, пихтовых и кедровых лесов по сравнению с лиственными насаждениями. Благодаря данной комбинации также легко можно идентифицировать процессы естественного зарастания участков вырубок прошлых лет [9], а также участков, поврежденных прошедшими пожарами [10].

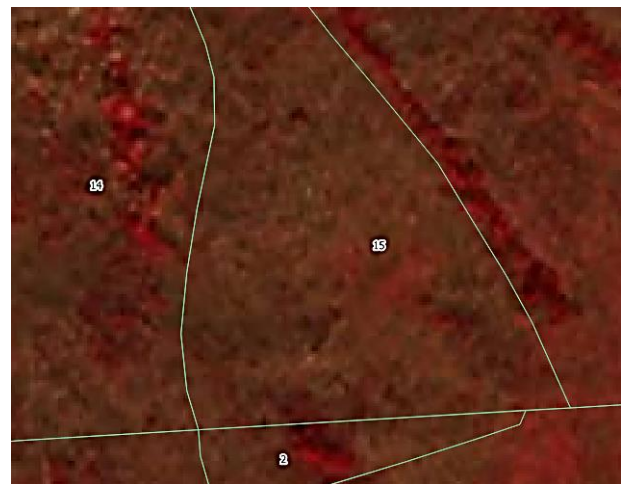


Рис. 3. Следы среднего по интенсивности пожара на осенних снимках на территории анализируемой ЛСБ

Участки, пройденные пожарами, легко идентифицируются по различным оттенкам чёрного и серого цвета, что позволяет определить степень повреждения лесных насаждений и оценить площадь повреждения пожарами различной степени интенсивности [11, 18].

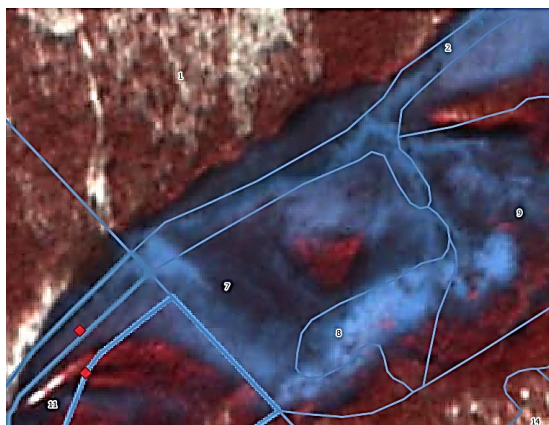


Рис. 4. Следы сильного по интенсивности пожара на зимних снимках на территории анализируемой ЛСБ

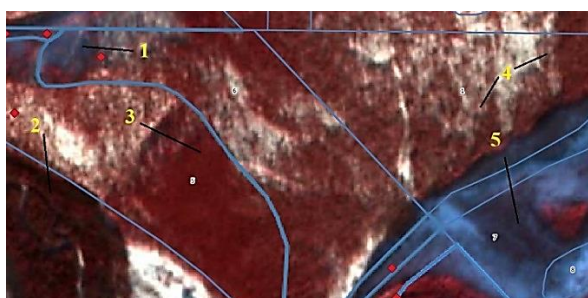


Рис. 5. Следы среднего и сильного по интенсивности пожара на зимних снимках на территории анализируемой ЛСБ

На рис. 3 приведён пример следов среднего пожара в хвойных насаждениях, которые в комбинации каналов SWIR, NIR, RED будут отображены в бежево-коричневых тонах, с красноватыми оттенками встречающейся редкой жизнеспособной растительности. В случае обнаружения на анализируемой ЛСБ таких участков, необходимо при анализе материальных затрат на организацию лесозаготовительной деятельности предусмотреть статью затрат на проведение лесопатологического обследования данных участков.

Следы сильного пожара в хвойных насаждениях на зимних снимках, отображаемые в комбинации каналов SWIR, NIR, RED оттенками серо-розового или бордового цвета [20], представленные на рис. 4, свидетельствуют о значительной степени выгорания насаждения в целом, что позволяет практически полностью исключить данную территорию из участка ЛСБ. На рис. 4 тёмно-бордовым цветом 2 отображены спелые здоровые хвойные насаждения, следы сильных пожаров с практически полным выгоранием древесной растительности – серым и серо-бордовым цветом 1, 5, частично повреждённые пожаром насаждения 4 – бордово-серым или бордовым с вкраплениями тёмно-серого или чёрного цвета. Молодые хвойные здоровые насаждения 3 отображены тёмно-красным плотным цветом.

Преимуществом использования для анализа состояния ЛСБ материалов ДЗЗ является возможность автоматизации их обработки в ГИС-программах [12, 13]. Одним из примеров такой автоматизации является обработка в программном модуле Semi-Automatic Classification Plugin на базе QGIS версии 3. С использованием панели создания обучающей выборки и дальнейше-

го автоматизированного анализа материалов ДЗЗ методами Isodata и K-means выполнялась кластеризация с разделением кластеров на несколько групп (рис. 6) с учётом приоритета целевой породы для анализа ЛСБ:

- здоровые хвойные спелые и перестойные насаждения;
- здоровые хвойные средневозрастные насаждения;
- здоровые хвойные молодняки;
- поврежденные хвойные спелые и перестойные насаждения;
- повреждённые хвойные средневозрастные насаждения;
- повреждённые хвойные молодняки;
- уничтоженные хвойные спелые и перестойные насаждения.

Классификация с использованием предобученных наборов данных даёт достаточно достоверный результат определения объектов по анализируемым показателям [3].

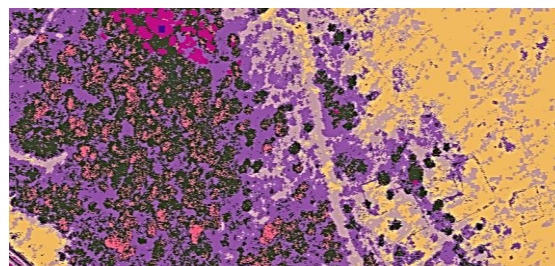


Рис. 6. Результат кластеризации снимка методом K-means

На рис. 6 на части анализируемой ЛСБ на территории Черемховского видны контуры здоровых хвойных насаждений (объекты кораллового цвета), повреждённые хвойные насаждения обозначены лиловым цветом, здоровые лиственные насаждения – светло-оранжевым цветом. Полученные результаты кластеризации проходят процедуру укрупнения кластеров для отсечения грубых или ошибочных результатов, для получения границ насаждений с преобладанием целевой породы.

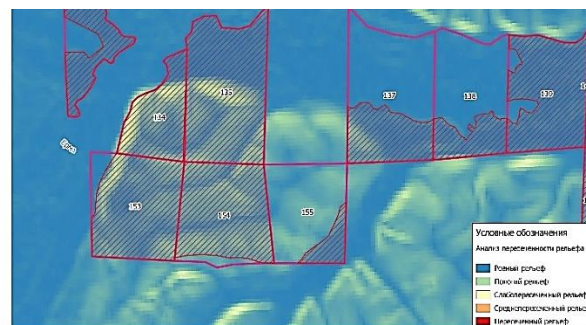


Рис. 7. Выполнение анализа топографических условий на анализируемой ЛСБ на территории Черемховского лесничества

Использование инструментов морфометрического анализа данных SRTM в ГИС-программах [16, 17] также позволяет легко выполнить исследование территории на предмет исключения из обнаруженных участков лесного фонда с преобладанием целевой породы, территорий со среднепересечённым и пересечённым рельефом (рис. 7).



Рис. 8. Синтез каналов 5-6-2 (NIR, SWIR, Blue) на снимке Sentinel-2 L2A

Величина предельного уклона на исключаемых участках лесного фонда будет зависеть от предполагаемой системы лесозаготовительных машин, планируемых к использованию. В настоящее время наибольший уклон, при котором возможно ведение лесозаготовительных работ, составляет в продольном направлении 20° в поперечном 17° . Исходя из нормативов безопасности выполнения лесозаготовительных работ необходимо исключить все участки, где уклоны местности превышают 176‰ .

Исследование территории на предмет наличия переувлажнённых участков местности проводится комплексно, как с использованием векторных слоёв существующей гидрографической сети, так и с использованием определённой комбинации каналов «искусственных» цветов (NIR, SWIR, Blue), в которой участки переувлажнённой местности отображаются тёмным синезелёным цветом (рис. 8) [14, 15]. Анализ по степени переувлажнённости грунтов является неотъемлемой частью комплексного исследования ЛСБ, поскольку на

сегодняшний день на территории Иркутской области осталось достаточно мало свободных от аренды участков лесного фонда, расположенных на незаболоченных или сухих участках. Классификация территории по степени переувлажнённости позволила распределить участки лесного фонда по сезонам заготовки на зимние и всесезонные участки.

Анализ степени развитости транспортной инфраструктуры на обследуемых участках характеризуется плотностью дорожной сети на 1 га лесного фонда [6]. Расчёт плотности дорожной сети на анализируемых участках лесного фонда на территории Черемховского лесничества составил $2,36\text{ км}/1000\text{ га}$, что свидетельствует о низкой плотности сети дорог, следовательно предприятию необходимо предусмотреть дополнительные затраты на развитие транспортной инфраструктуры на территории данного лесничества.

При анализе транспортной доступности исследуемых участков лесного фонда также производилась оценка среднего расстояния вывозки с буферных складов анализируемых лесных участков до пункта переработки древесного сырья. При расчёте среднего расстояния вывозки учитывалась преимущественно существующая транспортная инфраструктура с капитальными или усовершенствованными покрытиями. Несмотря на зачастую близкое географическое расположение участков ЛСБ к пунктам переработки, заведённые в период 2020–2026 гг. обследования многочисленных лесничеств Иркутской области показали, что среднее расстояние вывозки на сегодняшний день по существующей сети дорог в среднем составляет $200\text{--}250\text{ км}$. А при наличии у предприятий требований к целевым породам и видам сырья средние расстояния вывозки, в радиусе которых предприятия готовы вести лесозаготовительную деятельность, увеличивается до $300\text{--}350\text{ км}$.

Комплексная оценка выбора оптимального варианта ЛСБ подразумевает использование балльной оценки каждого из оцениваемых показателей, с учётом коэффициентов значимости (веса) показателя при принятии окончательного решения.

Расчёт итогового балла производится как сумма произведений баллов k_i на веса критериев оценки w_i .

$$И = \sum (k_i * w_i)$$

По итоговой суммарной оценке производится выбор наиболее приоритетных участков для ведения лесозаготовительной деятельности.

Таблица 1. Пример оценки привлекательности участков ЛСБ по балльной системе

Наименование лесничества	Оценка расстояния вывозки	Сгруппированность участков лесного фонда	Наличие транспортной инфраструктуры	Пересечённость рельефа	Наличие переувлажнённых участков	Участки заражения	Следы пожаров	Итого баллов И
Балаганское	2	1	2	2	0	2	2	11
Заларинское	2	2	1	2	2	1	1	11
Кировское	2	0	1	2	0	2	2	9
Усть-Удинское	0	1	0	2	2	2	1	8
Черемховское	4	1	1	2	1	1	1	11

Заключение. Согласно материалам проведенных исследований, основными факторами, сдерживающими развитие новых лесозаготовительных производств, являются:

- а) отсутствие актуальных материалов лесоустройства на большей части территории лесного фонда Иркутской области. На участках, где лесоустройство проведено, имеются зачастую значительные несоответствия между фактическими таксационными характеристиками и данными таксационных описаний в части ошибочно указанного возраста, состава, объемных характеристик. Также зачастую материалы проведенного лесоустройства не внесены в полной мере в ФГИС ЛК, или внесенные данные имеют много ошибок в части кадастровых границ участков лесного фонда или нанесения границ участков лесного фонда, пройденных пожарами, что также усложняет сбор информации о фактическом состоянии лесных насаждений;
- б) слабый уровень развития процессов взаимодействия предполагаемых арендаторов с территориальными

ми органами управления лесного хозяйства и не соблюдение сроков формирования запросов;

в) отсутствие возможности выгрузки в ФГИС ЛК границ участков лесного фонда в векторном формате, что снижает уровень автоматизации процесса принятия решения об аренде ЛСБ;

г) отсутствие полного покрытия материалами дистанционного зондирования Земли или высокая стоимость коммерческих снимков;

д) низкий уровень развития транспортной лесной инфраструктуры.

Использование предложенного алгоритма проведения оценки лесосырьевых ресурсов и подбора ЛСБ позволяет автоматизировать процессы обработки данных, осуществлять учёт многочисленного количества факторов, оказывающих влияние на эффективность ведения лесозаготовительной деятельности, осуществить сбор полного объема информации для выбора организационной формы ведения заготовки древесины и подбора техники и технологии выполнения лесосечных работ.

Литература

- Даниленко О.К., Гарус И.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687640 Российской Федерации. Первичная обработка данных аэрофотосъемки лесных насаждений (DataFotoLes v. 1.1) : № 2023684763 : заявл. 20.11.2023 : опубл. 18.12.2023.
- Даниленко О.К. Использование методов дистанционного зондирования для оценки труднодоступных водоохранных лесов / О.К. Даниленко, И.А. Гарус, Е.М. Рунова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2024. № 2(75). С. 66–74. DOI 10.34655/bgsha.2024.75.2.008. –
- Григорьев Е.А., Капралова Д.О., Пермитина Л.И. «Использование российских данных ДЗЗ для изучения динамики восстановления эколого-ресурсного потенциала лесных регионов после воздействия пожаров». Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности», 2018, т. 26, № 1, с. 52–62.
- Лазарева А.А., Слаута А.А., Афонина Т.Е. «Применение данных дистанционного зондирования Земли при мониторинге лесных пожаров». Журнал «Мониторинг. Наука и технологии», 2019, выпуск № 1 (39).
- Покидышева Ю.В., Костылев В.А., Барсуков К.Г. «Возможности и проблемы использования данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) при мониторинге лесных пожаров». Журнал «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика», 2015, № 4, с. 58–62.
- Долматов С.Н., Макунина Я.С. Плотность сети лесных дорог как фактор устойчивого лесопользования на примере лесов Красноярского края // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2023. № 3 (59). С. 87–97.
- Жирин В.М., Князева С.В., Эйшлин С.П., Зукерт Н.В. Сезонная информативность многоспектральных космических снимков высокого разрешения при изучении породно-возрастной динамики лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012 № 9 (1) С. 87–94.
- Жирин В.М., Князева С.В., Эйшлин С.П. Динамика спектральной яркости породно-возрастной структуры групп типов леса на космических снимках Landsat // Лесоведение. 2014. № 5. С. 3–12.
- Жирин В.М., Князева С.В., Эйшлин С.П. Использование материалов съемок при оценке восстановительной динамики лесов на равнинных территориях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8, № 2 С. 208–216.
- Arianoutsou M. Post-fire successional recovery of a phrygane (East Mediterranean) ecosystem // Acta Oecol. (Oecol. Plant.). 1984 No. 5(19). P. 287–394.
- Chu T., Guo X., Takeda K. Remote sensing approach to detect post-fire vegetation regrowth in Siberian boreal larch forest // Ecological Indicators. 2016 No. 62 P. 32–46.
- Frazier R.J., Coops N.C., Wulder M.A. Boreal Shield forest disturbance and recovery trends using Landsat time series // Remote Sensing of Environment. 2015 No. 170 P. 317–327.
- Хамедов В.А. Использование данных дистанционного зондирования в задачах лесной отрасли / В.А. Хамедов, В.Н. Копылов, Ю.М. Полищук [и др.] // Космические исследования. С. 380–387.
- Hirsch S.N. The bi-spectral forest detection system / S.N. Hirsch, R.F. Kruckeberg, F.H. Madden // Proceeding 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI: ERIM, 1971. P. 2253–2259.
- Pagano T.S. Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) / T.S. Pagano, R.M. Durham // Sensor Systems for the Early Earth Observing System Platforms. SPIE, 1993. Vol. 1939. P. 2–17.
- Murphy R.E. The visible infrared imaging radiometer suite / R.E. Murphy [et al.] // Earth Science Satellite Remote Sensing: Vol. 1: Science and Instruments / ed. by Q. Zhang, R.A. Meyers. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. P. 199–223.
- Shukla B.P. Automatic smoke detection using satellite imagery: Preparatory to smoke detection from Insat-3D / B.P. Shukla, P.K. Pal // Int. J. Remote Sens. 2009. Vol. 30. P. 9–22.
- Li Z. Automatic detection of fire smoke using artificial neural networks and threshold approaches applied to AVHRR imagery / Z. Li, A. Khananian, R.H. Fraser, J. Cihlar // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2001. Vol. 39. P. 1859–1870.
- Зраенко С.М. Обучаемый алгоритм обнаружения пожаров по данным дистанционного зондирования / С.М. Зраенко,

- М.А. Мымрина, В.В. Ганжа // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 11. С. 17.
20. Шахрамьян М.А. Методы тематической обработки космических снимков при мониторинге природных чрезвычайных ситуаций / М.А. Шахрамьян [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2004. № 4. С. 8–39.
 21. Татарников А.В. Мониторинг лесных пожаров на Байкальской природной территории по данным ДЗЗ / А.В. Татарников [и др.] // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 7. С. 68–71.
https://eos.com/landviewer/?lat=57.16816&lng=102.68803&z=16&id=S2A_tile_20250624_48VUJ_1&b=SWIR2,Red8,Red&anti=true&from=2025-05-01&to=2025-08-31&processing=L2A&menuItem=myAoi (Электронный ресурс) (дата обращения 26.03.2026 г.)
 22. <https://www.scanex.ru/data/satellites/> (Электронный ресурс) (дата обращения 26.03.2026 г.).
- ### References
1. Danilenko O.K., Garus I.A. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2023687640. Russian Federation. Primary Processing of Aerial Photographs of Forest Stands (DataFotoLes v. 1.1): No. 2023684763: declared November 20, 2023; published December 18, 2023.
 2. Danilenko O.K. Using remote sensing methods to assess hard-to-reach water protection forests / O.K. Danilenko, I.A. Garus, E.M. Runova // Bulletin of the V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy. 2024. No. 2 (75). P. 66–74. DOI 10.34655/bgsha.2024.75.2.008.
 3. Grigorets E.A., Kapralova D.O., Permitina L.I. "Using Russian Remote Sensing Data to Study the Dynamics of Restoration of the Ecological and Resource Potential of Forest Regions after Fire Impact" Journal "Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety" 2018, Vol. 26, No. 1, pp. 52–62.
 4. Lazareva A.A., Slauta A.A., Afonina T.E. "Application of Earth Remote Sensing Data in Forest Fire Monitoring" Journal "Monitoring. Science and Technology" 2019, Issue No. 1 (39).
 5. Pokidysheva Yu.V., Kostylev V.A., Barsukov K.G. "Potential and Challenges of Using Remote Sensing Data (RSD) in Forest Fire Monitoring" Journal "Current Research Directions of the 21st Century: Theory and Practice" 2015, No. 4, pp. 58–62.
 6. Dolmatov S.N., Makunina Ya.S. Forest Road Network Density as a Factor in Sustainable Forest Management: The Case of Krasnoyarsk Krai Forests // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management. 2023. No. 3 (59). pp. 87–97.
 7. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P., Zukert N.V. Seasonal information content of high-resolution multispectral space images in the study of forest species-age dynamics // Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. 2012, No. 9 (1), pp. 87–94.
 8. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. Dynamics of spectral radiance of the species-age structure of forest type groups in Landstad space images // Forest Science. 2014, No. 5, pp. 3–12.
 9. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. Using survey data to assess forest restoration dynamics in flat areas // Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. Vol. 8, No. 2, pp. 208–216.
 10. Arianoutsou M. Post-fire successional recovery of a phryganic (East Mediterranean) ecosystem // Acta Oecol. (Oecol. Plant.). 1984 No. 5 (19). pp. 287–394.
 11. Chu T., Guo X., Takeda K. Remote sensing approach to detect post-fire vegetation regrowth in Siberian boreal larch forest // Ecological Indicators. 2016 No. 62 P. 32–46.
 12. Frazier R.J., Coops N.C., Wulder M.A. Boreal Shield forest disturbance and recovery trends using Landsat time series // Remote Sensing of Environment. 2015 No. 170 P. 317–327.
 13. Khamedov V.A. Use of remote sensing data in forestry problems / V.A. Khamedov, V.N. Kopylov, Yu.M. Polischuk [et al.] // Space Research. P. 380–387.
 14. Hirsch S.N. The bi-spectral forest detection system / S.N. Hirsch, R.F. Kruckeberg, F.H. Madden // Proceeding 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, MI: ERIM, 1971. P. 2253–2259.
 15. Pagano T.S. Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) / T.S. Pagano, R.M. Durham // Sensor Systems for the Early Earth Observing System Platforms. – SPIE, 1993. – Vol. 1939. – P. 2–17.
 16. Murphy R.E. The visible infrared imaging radiometer suite / R.E. Murphy [et al.] // Earth Science Satellite Remote Sensing: Vol. 1: Science and Instruments / ed. by Q. Zhang, R.A. Meyers. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. P. 199–223.
 17. Shukla B.P. Automatic smoke detection using satellite imagery: Preparatory to smoke detection from Insat-3D / B.P. Shukla, P.K. Pal // Int. J. Remote Sens. 2009. Vol. 30. P. 9–22.
 18. Li Z. Automatic detection of fire smoke using artificial neural networks and threshold approaches applied to AVHRR imagery / Z. Li, A. Khananian, R.H. Fraser, J. Cihlar // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2001. Vol. 39. P. 1859–1870.
 19. Zrayenko S.M. Trainable algorithm for fire detection based on remote sensing data / S.M. Zrayenko, M.A. Mymrina, V.V. Ganza // Journal of Radio Electronics. 2014. No. 11. P. 17.
 20. Shakhramyan M.A. Methods of thematic processing of space images in monitoring natural emergencies / M.A. Shakhramyan [et al.] // Civil Safety Technologies. 2004. No. 4. P. 8–39.
 21. Tatarnikov A.V. Monitoring of forest fires in the Baikal natural territory based on remote sensing data / A.V. Tatarnikov [et al.] // Ecology and Industry of Russia. 2022. Vol. 26, No. 7. P. 68–71.
 22. https://eos.com/landviewer/?lat=57.16816&lng=102.68803&z=16&id=S2A_tile_20250624_48VUJ_1&b=SWIR2,Red8,Red&anti=true&from=2025-05-01&to=2025-08-31&processing=L2A&menuItem=myAoi (Электронный ресурс) (дата обращения 26.03.2026 г.)
 23. <https://www.scanex.ru/data/satellites/> (Электронный ресурс) (дата обращения 26.03.2026 г.).