

УДК 528.94:630\*3

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-113-124

## Геоинформационное обеспечение оценки доступности древесного сырья лесозаготовительных территорий

А. П. Мохирев<sup>1</sup>✉, С. О. Медведев<sup>1</sup>, М. О. Якушева<sup>1</sup>, М. А. Зырянов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. акад. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

**Аннотация.** Эффективность принятия управленческих решений в любой сфере деятельности человека обосновывается доступностью, актуальностью и полнотой располагаемой информации. В работе лесопромышленного комплекса вопрос информационного обеспечения процессов стоит наиболее остро: характерной особенностью отрасли является широкая географическая протяженность лесных массивов, различающихся по качественным и объемным параметрам, а также постоянно претерпевающих изменения по естественным или антропогенным причинам. В этих условиях все субъекты хозяйствования (от государственного управленческого аппарата до мелкого лесозаготовительного предприятия) заинтересованы в получении полной и достоверной информации об объектах лесопользования. Такая информация позволяет определить уровень доступности лесных ресурсов на той или иной территории. Проблемой становится сложность сбора (получения) этой информации, а также отсутствие практических методов ее обработки и оперативного применения. Целью представленного исследования является разработка методологической основы обеспечения субъектов лесопользования актуальной информацией для создания и функционирования географической информационной системы, с помощью которой оценивается доступность древесных ресурсов. В статье предложена информационно-логическая и математическая модели процесса определения доступных лесных участков с использованием географических информационных систем. На основе полученных результатов создан новый геоинформационный ресурс, предназначенный для лесничеств Красноярского края. На ресурсе размещается информация по транспортной инфраструктуре, объемам лесозаготовки и неосвоенных лесов, плотности сети лесных дорог, а также иная профильная информация, необходимая для принятия эффективных управленческих решений, призванных поддерживать устойчивое развитие предприятий, регионов и отрасли в целом.

**Ключевые слова:** информационный ресурс, информационно-логическая модель, математическая модель, доступность древесных ресурсов, устойчивое развитие

### Для цитирования:

Мохирев А. П., Медведев С. О., Якушева М. О., Зырянов М. А. Геоинформационное обеспечение оценки доступности древесного сырья лесозаготовительных территорий // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 113–124. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-113-124

### Введение

Для устойчивого развития предприятий лесной отрасли необходима постоянная актуализация информации по состоянию лесного фонда, а также инфраструктурного развития территорий. На сегодняшний день

в общей массе информации относительно объемов и доступности древесных ресурсов в России достоверными являются лишь 19 % данных. Такая ситуация в нашей стране наблюдается на протяжении длительного периода времени. Формирование и наполнение баз данных начиналось еще во

времена СССР, а наличие современных методов сбора информации по лесным ресурсам (космических и аэросъемки, ГИСТехнологий и многих других) лишь в незначительной степени изменило ситуацию. При этом информация о запасе некоторого объема древесины на определенной территории не является гарантией пригодности этой древесины к хозяйственному освоению. Проблема в том, что значительная часть лесных территорий в России является недоступной для промышленного использования. Причинами этому являются неблагоприятные природно-климатические факторы сурового климата, сложный рельеф местности, отсутствие доступных высокорентабельных технологических решений и т. д. [1]. Таким образом, оценка доступности древесных ресурсов – это ценная информация, являющаяся основой для развития лесной отрасли страны.

В этих условиях геоинформационные системы становятся ключевым интегральным инструментом в области управления лесными ресурсами. Они предоставляют ценную информацию о пространственных данных, имеющих решающее значение для процессов принятия решений. Тем не менее эффективность таких систем в точной оценке наличия древесного сырья в лесных районах определяется несколькими ключевыми факторами, которые требуют всестороннего исследования.

Решение проблем, связанных с качеством исходных данных, сложностью экосистем и экономических условий, проектированием и эксплуатацией лесной инфраструктуры помогут повысить итоговую эффективность поддержки геоинформационной системы в вопросах управления лесным хозяйством и обеспечения устойчивого использования лесных ресурсов.

Основанием для создания базы данных лесозаготовительных территорий является ее потенциал для улучшения научного понимания и управления лесными ресурсами. Непрерывный сбор и систематизация информации о состоянии территорий лесозаготовок дает ряд преимуществ. Во-первых,

такая база данных позволяет осуществлять эффективный мониторинг и оценку лесозаготовительной деятельности, включая определение вырубаемых площадей, масштабов лесозаготовок и связанного с ними воздействия на лесные экосистемы. Во-вторых, это позволяет точно отслеживать темпы добычи древесины, помогая обеспечить устойчивую практику лесозаготовок и предотвратить чрезмерную эксплуатацию лесов. Кроме того, база данных облегчает анализ пространственных закономерностей и тенденций в лесозаготовках, помогая выявить зоны высокого риска или чувствительные районы, требующие природоохранных усилий. Более того, собранная информация может использоваться в процессах принятия решений, касающихся управления лесами, планирования землепользования и разработки глобальной лесной политики страны. В целом создание информационного ресурса с необходимым картографическим материалом и числовыми характеристиками лесозаготовительных территорий служит ценным инструментом содействия устойчивому освоению лесных ресурсов и природопользованию [2].

### *Методы и материалы*

В предыдущих работах авторского коллектива была проведена работа по определению различных видов доступности древесных ресурсов [3]. В частности, произведено детальное исследование экологической, технологической, технической и транспортной доступностей. Логичным итогом их анализа являлось формирование экономической доступности древесных ресурсов. Проведенные ранее исследования привели к разработке ряда теоретико-методических основ [4–9], которые были апробированы на действующих предприятиях и в учебном процессе. Одним из наиболее важных результатов, имеющих как фундаментальную, так и прикладную значимость, являлся алгоритм, применяемый для количественной оценки доступности древесных ресурсов на определенном лесозаготовительном участке (ЛЗУ) [9].

Ключевым инструментом при проведении такой оценки должны выступать географические информационные системы (ГИС). Они используются для транспортной оценки лесных территорий [10–12], оценки наличия древесных ресурсов путем интеграции пространственных данных, планирования лесозаготовок [13, 14], дистанционного зондирования и аналитических инструментов [15, 16]. Это позволяет создавать комплексные базы данных [17] и карты, отражающие распределение, количество и качество древесных ресурсов в пределах заданной географической области. ГИС облегчает идентификацию и картографирование лесных массивов, плотности дорог, видового состава деревьев, возрастных классов и плотности, помогая оценить объем древесины и потенциальную урожайность. Кроме того, ГИС может включать дополнительные уровни информации, такие как типы почв, топография и климатические условия, для повышения точности моделей оценки ресурсов. В целом применение ГИС обеспечивает эффективную оценку и мониторинг древесных ресурсов, помогая в устойчивом управлении и принятии решений в лесном секторе. На основе этой информации формируется база данных о лесных ресурсах.

Непосредственная работа по наполнению базы данных может собираться как из открытых источников [18], так и иметь уникальный характер [19, 20]. Данная информация формируется в табличном виде в одном из возможных табличных редакторов или программных продуктов, реализующих возможности создания и использования базы данных.

Исходная информация в виде первоначальных информационных ресурсов для определения доступности по типам информации:

- логистические объекты (дорожная сеть и ее множество параметров);
- территориальное распределение (взаимосвязи и границы различных объектов);
- природно-климатические особенности (характеристики лесов, почв, рельефа, водных объектов и т. д.).

Показателям лесного участка присваиваются цифровые значения и заносятся в ГИС по методике [21] в виде атрибутивной информации.

В конечном итоге авторами разработана информационно-логическая модель проводимых работ, представленная на рис. 1. Она поэтапно и наглядно демонстрирует алгоритм определения доступности древесных ресурсов.

Следует уточнить, что в представленной на рис. 1 модели термин «ограничение» следует воспринимать как невозможность выполнения определенного действия. Так, если действует ограничение использования машин по несущей способности грунтов (п. 7), то это означает, что удельное давление лесозаготовительных машин (имеющихся у предприятия) выше предельно допустимых значений. Это приводит к тому, что данная техника не может быть использована на данном типе грунтов, а следовательно, ЛЗУ не может быть освоен.

Ввод сведений об используемых на предприятии машинах и оборудовании (блок 1) производится в атрибутивной форме (табл. 1).

После введения типов местности в полигоне числовые значения автоматически присваиваются соответствующим слоям. Таким образом, происходит «информатизация» исследовательской базы (карты, территории и т. п.). Экологическая доступность ЛЗУ определяется на 4-м и 5-м этапах (блоке представленного алгоритма). В данном случае проверяется соответствие нормативно-правовым актам России в части освоения исследуемых объектов. Техническая и технологическая доступности оцениваются в блоках 6–10. Данный этап исследования наиболее трудоемкий, так как необходимо сравнить соответствие параметров (характеристик), используемой техники и оборудования системе ограничений. Введение экономических параметров продукции в блоке 11 – ключевой аспект для расчета экономической доступности. Вводится количество видов древесной продукции  $m$ , объемы  $V_{ПСt}$  каждого вида ПС и цены коммерческой продукции  $C_{ПСt}$ , вида  $t$ , породы.

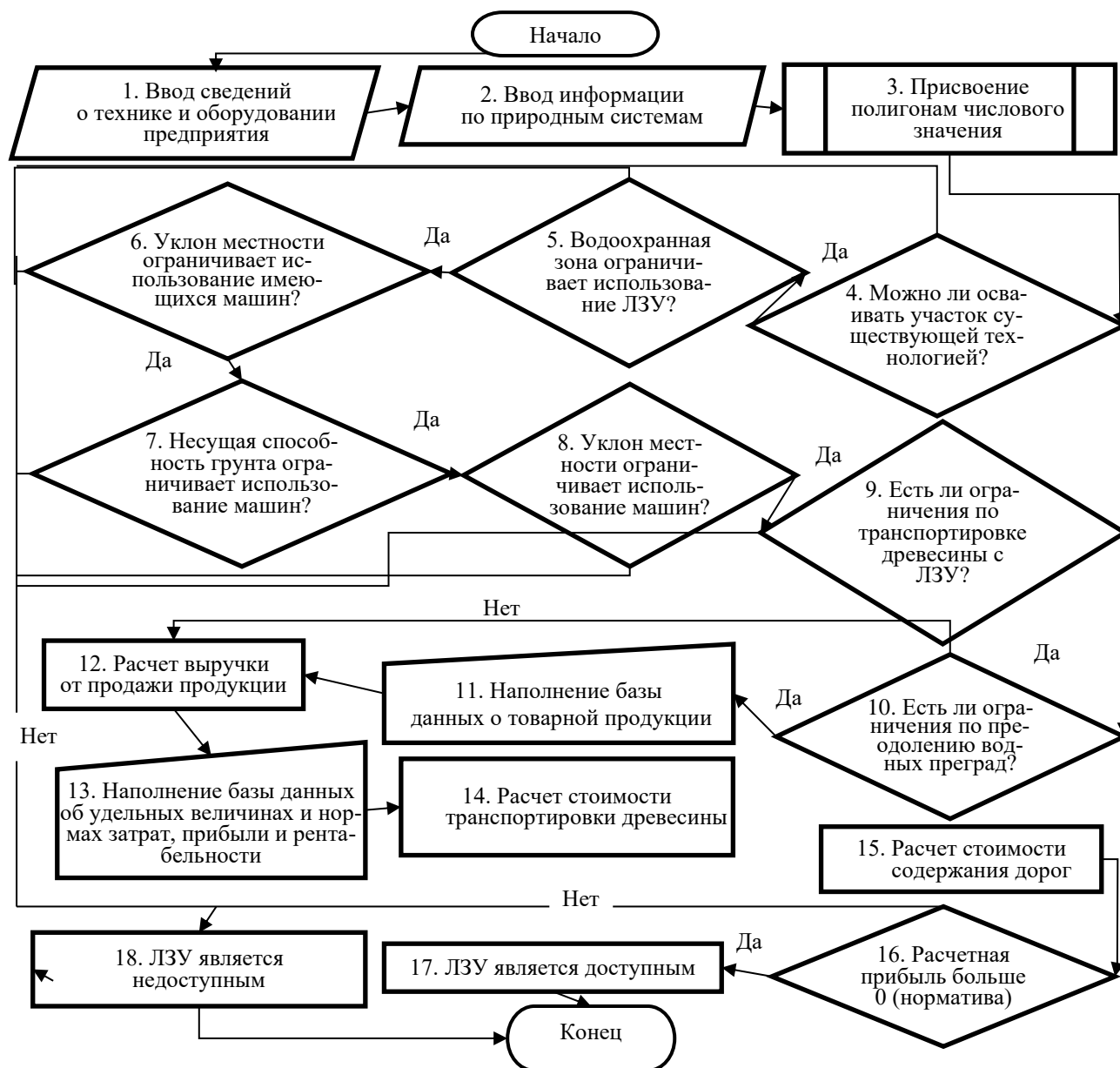


Рис. 1. Информационно-логическая модель процесса определения доступных участков с использованием ГИС

Таблица 1

Фрагмент базы данных по атрибутивным параметрам используемых на предприятии технологий и систем машин

Вид информации	Градации	Значение атрибутивной информации
Вид транспорта	Автомобильный (А)	(0 – отсутствие, 1 – наличие)
	Железнодорожный (Ж)	
	Водный (В)	
Вид рубок	Выборочные рубки (ВР)	
	Сплошные рубки (СР)	
Период года, для которого рассчитывается доступность ресурсов (h)	Зимний	1
	Зимне-весенний	2
	Весенний	3
	Летний	4
	Осенний	5

Также важным аспектом модели является то, что расчет расходов по транспортировке древесины ( $C_z^B$ ) и обслуживанию дорог ( $C_z^{cod}$ ) необходимо выполнять с учетом влияния природно-климатических факторов. Этот аспект принципиален вследствие значительных отличий различных территорий по комплексу параметров и, как следствие, колебания удельных затрат на транспортировку и содержание дорог по каждому транспортному пути ( $z$ ). Например, территории, обладающие более суровым климатом (более низкие температуры), с большим количеством осадков, сложным рельефом и т. д. требуют больших затрат.

В блоках 14 и 15 происходит расчет двух важнейших элементов, определяющих в ко-

нечном итоге эффективность (рентабельность, прибыль) предприятия от заготовительной деятельности. Стоимость транспортировки древесины  $P_{тр}$  и содержания дорог  $P_{cod}$ , что вполне логично, существенно зависят от природно-климатических условий и комплекса производственных факторов. Для учета их воздействия вводятся поправочные коэффициенты  $k_{ch}^B, k_{ch}^{cod}$ . Непосредственный расчет стоимостей осуществляется путем суммирования удельных затрат расстояния  $j$ -го участка по  $z$ -му типу транспортного пути.

Рис. 2 иллюстрирует математическое представление процесса определения доступных ЛЗУ с использованием ГИС.

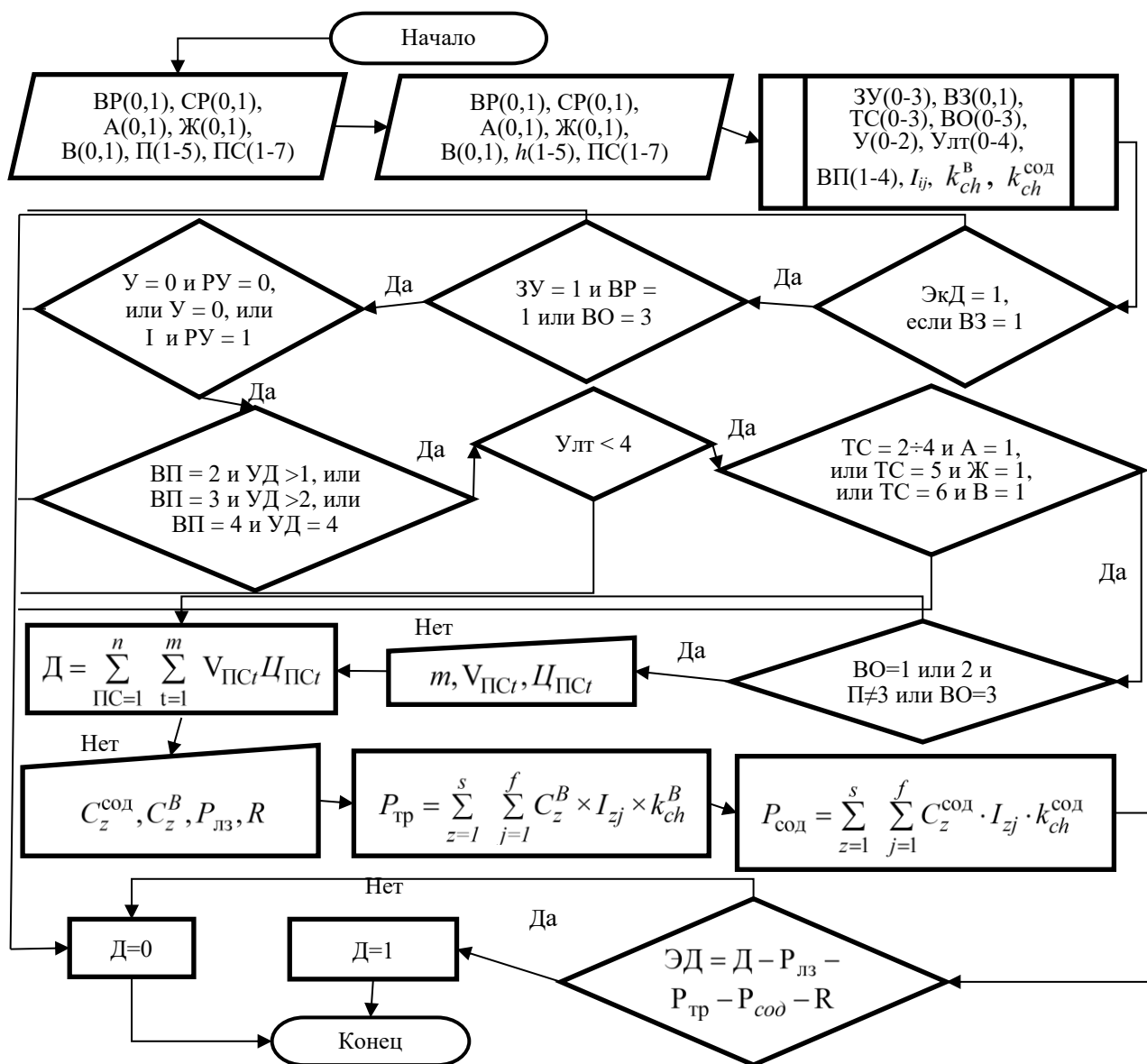


Рис. 2. Математическая модель алгоритма определения доступности ЛЗУ



Итоговое значение прибыли в блоке 16 может рассчитываться путем нахождения разницы между выручкой и расходами; в таком случае она должна быть положительной. Для предприятия важен сам факт получения положительного значения прибыли. Также расчет прибыли может осуществляться путем дополнительного вычитания нормативного значения прибыли (нормы рентабельности, желаемого эффекта для предприятия)  $R$ . В таком случае прибыль в блоке 16 должна быть не меньше 0.

Результатом вычислений в рамках алгоритма является получение одного из двух возможных решений: ЛЗУ либо доступен ( $D = 1$ ), либо нет ( $D = 0$ ).

Одним из важных аспектов в работе с ГИС является то, что слои используемых карт представляют собой широкую базу данных. Каждый слой и элемент характеризуется множеством параметров, определяющих в конечном итоге доступность древесных ресурсов. Эти данные помогают лесопользователям

оценивать наличие древесины на арендованных лесных участках, выбирать участки будущей аренды, управлять поставками сырья и получать информацию о лесных ресурсах.

### Результаты и дискуссия

Согласно представленной методике собрана необходимая для расчетов база исходной геоинформации. В качестве примера можно отметить определение плотности дорог на лесном участке. Она определяется по методике [22, 23] с использованием инструментов ArcGIS [24, 25]. В базу данных заносятся основные результаты, которые представлены в табл. 2.

Результаты определения плотности лесовозных дорог могут представляться как в виде картографической информации (рис. 3), так и в виде числовой информации (см. табл. 2). Числовая информация заносится в базу данных, с помощью которой возможно проводить оптимизационные расчеты.

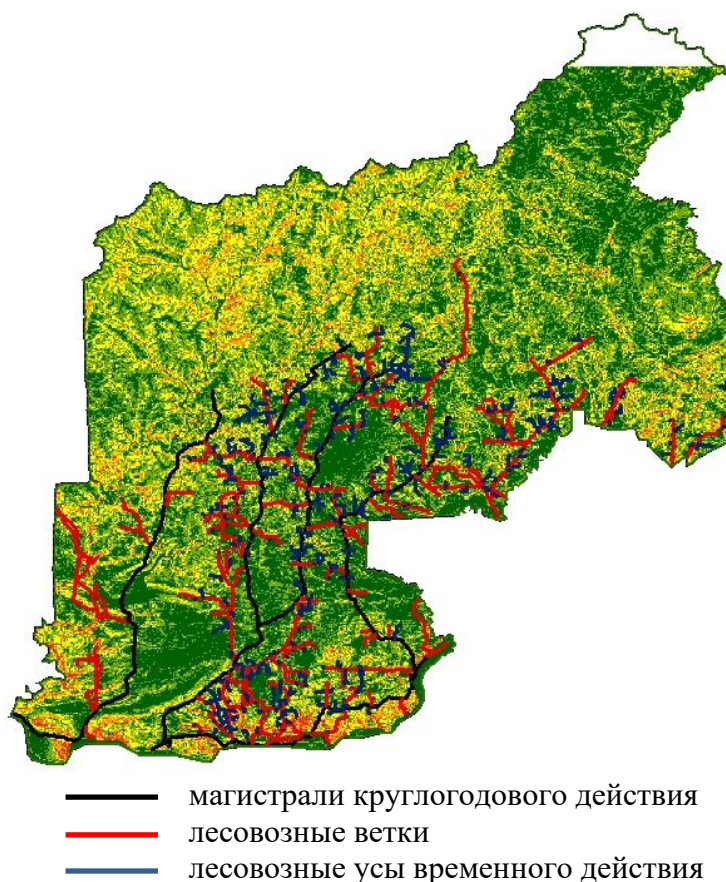


Рис. 3. Пример карты исследуемого объекта с обозначенными уклонами и лесотранспортной сетью

Таблица 2

Отдельные параметры логистической сети исследуемых ЛЗУ, заносимые в базу данных лесозаготовительной территории (Хребтовское и Гремучинское лесничества)

Характеристика	Показатель по территориям	
	Общая	Освоенная
Протяженность всех дорог, км	3 911,9	
Протяженность магистралей круглогодочного действия, км	770,7	
Протяженность лесовозных веток, км	1 740,1	
Протяженность лесовозных усов временного действия, км	1 401,1	
Плотность всех дорог, км/тыс. га	1,923	2,82
Плотность магистралей круглогодочного действия, км/тыс. га	0,379	0,557
Плотность лесовозных веток, км/тыс. га	0,855	1,26
Плотность лесовозных дорог круглогодочного действия и веток, км/тыс. га	1,234	1,817
Плотность лесовозных усов временного действия, км/тыс. га	0,689	1,01

Также в качестве геоинформационного ресурса определяется транспортная инфраструктура относительно квартальной сети и объемы лесопользования на территории. Данный геоинформационный ресурс дает обзор транспортной инфраструктуры и объемов, связанных с лесохозяйственной деятельностью в пределах конкретного лесничества. Цель работы ресурса состоит в том, чтобы способствовать всестороннему пониманию

транспортной сети, включая системы автомобильных дорог, водных путей и железнодорожных сетей, а также соответствующих объемов лесозаготовки и транспортировки древесины. Этот ресурс служит ценным справочным материалом для исследователей и заинтересованных сторон, участвующих в планировании устойчивого управления лесами и процессах принятия решений. Пример его страницы представлен на рис. 4.

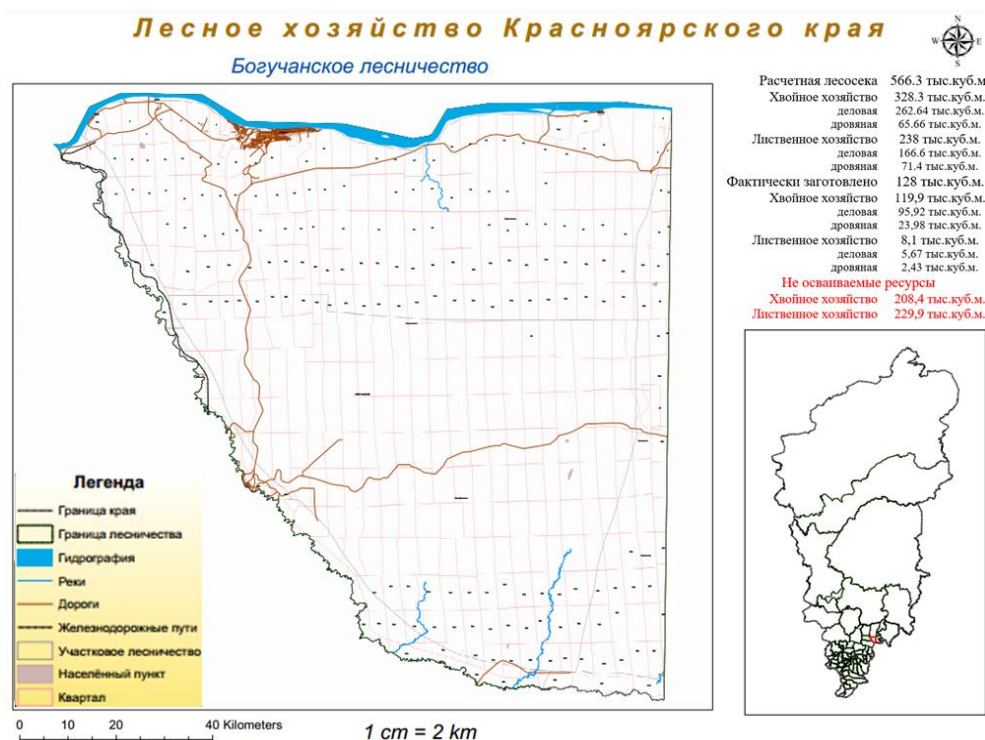


Рис. 4. Страница геоинформационного ресурса, отражающего транспортную инфраструктуру и объемы лесопользования лесничества

### Заключение

Своевременная, комплексная и достоверная оценка доступности лесных ресурсов позволяет выявить потенциал территорий для экономически эффективного и экологически безопасного освоения лесного фонда. Представленный геоинформационный ресурс собрал в себе комплекс информации, которую можно оперативно обновлять, корректировать и использовать с применением современных географических информационных технологий.

В результате исследования разнородных данных и формирования единой методики их обработки получена актуальная наглядная картина транспортной доступности лесных ресурсов по лесничествам Красноярского края, а также по отдельным арендным участкам. На основе полученных данных можно

ранжировать (районировать) исследуемые территории по степени транспортного и лесозаготовительного освоения. Также появляется возможность оценить перспективность конкретных территорий и целесообразность организации на них лесозаготовительных и деревоперерабатывающих мощностей.

Таким образом, применение разработанного авторами геоинформационного ресурса на всех уровнях менеджмента в сфере лесопользования может стать действенным инструментом для помощи в принятии эффективных управленческих решений на пути к устойчивому развитию лесной отрасли.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rudov S. E., Voronova, A. M., Chemshikova J. M., Teterevleva E. V., Kruchinin I. N., Dondokov Yu. Zh., Khaldeeva M. N., Burtseva I. A., Danilov V. V., Grigorev I. V. Theoretical approaches to logging trail network planning: increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. – 2019. – Vol. 16, No. 4. – P. 61–75.
2. Пахахинова З. З., Батоцыренов Э. А., Бешенцев А. Н. Картографическая регистрация базовых пространственных объектов для мониторинга природопользования // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 94–104.
3. Pozdnyakova M. O., Mokhirev A. P., Medvedev S. O., Gerasimova M. M., Mammatov V. O. The algorithm for evaluating availability of wood resources considering ecological, technological, technical, transport and economic restrictions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 459. – P. 062058. – DOI 10.1088/1755-1315/459/6/062058.
4. Мохирев А. П. Методика определения экономической доступности древесных ресурсов // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 8. – С. 63–66.
5. Мохирев А. П., Позднякова М. О., Куницкая О. А., Григорьев И. В. Факторы доступности древесных ресурсов: анализ влияния на ключевые критерии // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 1 (37). – С. 110–115.
6. Позднякова М. О., Мохирев А. П. Алгоритм оценки доступности древесных ресурсов с учетом различных природно-производственных ограничений // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Материалы XVI Международной научно-технической конференции, Вологда, 05 декабря 2018 года / Отв. ред. С. М. Хамитова. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2019. – С. 212–216.
7. Позднякова М. О., Мохирев А. П. Теоретические и методические основы доступности древесных ресурсов // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 11-1. – С. 76–80.
8. Pozdnyakova M. O., Mokhirev A. P., Ryabova T. G. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources // JAES. – 2018. – Vol. 16, No. 4. – P. 565–569.
9. Pozdnyakova M. O., Mokhirev A. P., Medvedev S. O. et al. The Algorithm for Evaluating Availability of Wood Resources Considering Ecological, Technological, Technical, Transport and Economic Restrictions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International



Science and Technology Conference "EarthScience" (Rusky Island, December 10–12, 2019)– Rusky Island : Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 459(6), Chapter 5. – P. 062058. – DOI 10.1088/1755-1315/459/6/062058.

10. Grigolato S., Mologni O., Cavalli R. GIS Applications in forest operations and road network planning: an overview over the last two decades // *Croatian Journal of Forest Engineering*. – 2017. – Vol. 38(2). – P. 175–186.

11. Yoshida M., Sakurai R., Sakai H. Forest road planning using precision geographic data under climate change // *International Journal of Forest Engineering*. – 2019. – Vol. 30(3). – P. 219–227.

12. Talebi M., Majnounian B., Makhdom M., Abdi E., Omid M., Marchi E., Andrea Laschi. A GIS-MCDM-based road network planning for tourism development and management in Arasbaran forest, Iran // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2019. – Vol. 191(11). – P. 647.

13. Latterini F., Stefanoni W., Venanzi R., Tocci D., Picchio R. GIS-AHP Approach in Forest Logging Planning to Apply Sustainable Forest Operations // *Forests*. – 2022. – Vol. 13(3). – P. 484.

14. Jaziri W. Using GIS and multicriteria decision aid to optimize the direction of trees cutting in the forest ecosystem: A case study // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2017. – Vol. 143. – P. 177–184.

15. Фарбер С. К., Кузьмик Н. С., Брюханов Н. В. Перспективы использования данных SRTM для решения лесных научно-практических задач // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.)*. – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 4. – С. 85–88.

16. Shlepkin A. A., Shiryayeva T. A., Shlepkin A. K. et al. On remote sensing of the earth by spacecraft // *Siberian Journal of Science and Technology*. – 2020. – Vol. 21, No. 4. – P. 514–522. – DOI 10.31772/2587-6066-2020-21-4-514-522.

17. Колесников А. А., Косарев Н. С., Немова Н. А. и др. Создание базы данных техногенно-нарушенных территорий Новосибирской области // *Вестник СГУГиТ*. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 80–92. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-80-92.

18. Карачевцева И. П., Дубов С. С., Андреев М. В. и др. Открытые пространственные данные для исследования территорий и цифровые сервисы доступа к ним // *Космические аппараты и технологии*. – 2023. – Т. 7, № 2 (44). – С. 142–152. – DOI 10.26732/j.st.2023.2.07.

19. Мабеле Б. К. П. Основы геоинформационной базы данных особо охраняемых природных территорий Республики Конго // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2020. – Т. 64, № 5. – С. 596–607. – DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-5-596-607.

20. Lee J. A., Oh J. H., Cha D. S. Prediction of Forest Biomass Resources and Harvesting Cost Using GIS // *Journal of Forest and Environmental Science*. – 2013. – Vol. 29 (1). – P. 81–89.

21. Мохирев А. П., Рукомойников К. П. Моделирование структуры лесотранспортных потоков. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 396 с.

22. Mokhirev A., Medvedev S. Assessment of road density in logging areas using geographical information systems // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. – 2020. – No. 507. – P. 12–22.

23. Мохирев А. П., Резинкин С. Ю., Медведев С. О., Брагина Н. А. Использование географических информационных систем при оценке плотности дорог лесозаготовительных районов // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 181–191. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-181-191.

24. Grigolato S., Mologni O., Cavalli R. GIS applications in forest operations and road network planning: An overview over the last two decades // *Croatian Journal of Forest Engineering*. – 2017. – Vol. 38 (2). – P. 175–186.

25. Jenness J. *DEM Surface Tools for ArcGIS*. – Flagstaff : Jenness Enterprises, 2013. – 95 p.

## Об авторах

Александр Петрович Мохирев – доктор технических наук, профессор.

Сергей Олегович Медведев – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник.

Мария Олеговна Якушева – научный сотрудник.

Михаил Алексеевич Зырянов – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник.

Получено 20.02.2024

© А. П. Мохирев, С. О. Медведев, М. О. Якушева, М. А. Зырянов, 2024

## Geoinformation support for the functioning of GIS assessment of the availability of wood raw materials of logging areas

A. P. Mokhirev<sup>1</sup>✉, S. O. Medvedev<sup>1</sup>, M. O. Yakusheva<sup>1</sup>, M. A. Zyryanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

**Abstract.** The availability of up-to-date information is always urgently needed to make the right management decisions in the development of an enterprise or industry as a whole. This is especially true in the forest complex, where the organization of the process requires data from large areas, often not accessible by transport. The purpose of the research was to develop a methodology for providing up-to-date information for the creation and operation of a geographical information system for determining the availability of wood resources. The article proposes an information-logical and mathematical model of the process of determining available sites using geographic information systems. On the basis of which a geoinformation resource was created for the forestry of the Krasnoyarsk Territory. The resource contains information on transport infrastructure, volumes of logging and undeveloped forests, density of the forest road network and other information necessary for the sustainable development of an enterprise, region, industry.

**Keywords:** information resource, information-logical model, mathematical model, availability of wood resources, sustainable development

## REFERENCES

1. Rudov, S. E., Voronova, A. M., Chemshikova, J. M., Teterleva, E. V., Kruchinin, I. N., Dondokov, Yu. Zh., Khaldeeva M. N., Burtseva, I. A., Danilov, V. V., & Grigorev, I. V. (2019) Theoretical approaches to logging trail network planning: increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 16. 4. 61–75.
2. Pakhakhinova, Z. Z., Batotsyrenov, E. A., & Beshentsev, A. N. (2016) Cartographic registration of basic spatial objects for monitoring environmental management. *Vestnik SGUGiT [Bulletin SGUGiT]*. 2(34). 94–104. [in Russian].
3. Pozdnyakova, M. O., Mokhirev, A. P., Medvedev, S. O., Gerasimova, M. M., & Mammатов, V.O. (2020) The algorithm for evaluating availability of wood resources considering ecological, technological, technical, transport and economic restrictions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 459. p. 062058. DOI 10.1088/1755-1315/459/6/062058.
4. Mokhirev, A. P. (2006) Methodology for determining the economic accessibility of wood resources. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern hightech technologies]*. 8. 63–66.
5. Mokhirev, A. P. Pozdnyakova, M. O., Kunitskaya, O. A., Grigoriev, I. V. (2018) Factors of availability of wood resources: analysis of the impact on key criteria. *Sistemy. Metody. Tekhnologii. [The system. Methods. Technologies.]*. No. 1 (37),. pp. 110–115.

6. Pozdnyakova, M. O., & Mokhirev, A. P. (2019) Algorithm for assessing the availability of wood resources taking into account various natural and production constraints. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii [Actual problems of the development of the forest complex. Materials of the XVI International Scientific and Technical Conference]*. 212–216.
7. Pozdnyakova, M. O., & Mokhirev, A. P. (2018) Theoretical and methodological foundations of the availability of wood resources. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]*. 11-1. 76–80.
8. Pozdnyakova, M. O., Mokhirev, A. P., & Ryabova, T. G. (2018) Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. *JAES*. 16. 4. 565-569.
9. Pozdnyakova, M. O., Mokhirev, A. P., Medvedev, S. O. & et al. (2019) The Algorithm for Evaluating Availability of Wood Resources Considering Ecological, Technological, Technical, Transport and Economic Restrictions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island, December 10-12*. 6, Chapter 5. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 062058. DOI 10.1088/1755-1315/459/6/062058.
10. Grigolato, S., Mologni, O., & Cavalli, R. (2017) GIS Applications in forest operations and road network planning: an overview over the last two decades. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(2), 175–186.
11. Yoshida, M., Sakurai, R., & Sakai, H. (2019) Forest road planning using precision geographic data under climate change. *International Journal of Forest Engineering*. 30(3), 219–227.
12. Talebi, M., Majnounian, B., Makhdoum, M., Abdi, E., Omid, M., Marchi, E., & Andrea Laschi. A (2019) GIS-MCDM-based road network 968 planning for tourism development and management in Arasbaran forest, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191(11), 647.
13. Latterini, F., Stefanoni, W., Venanzi, R., Tocci, D.; & Picchio, R. (2022) GIS-AHP Approach in Forest Logging Planning to Apply Sustain-1046 able Forest Operations. *Forests*. 13(3), 484.
14. Jaziri, W. (2017) Using GIS and multicriteria decision aid to optimize the direction of trees cutting in the forest ecosystem: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*., 143. 177–184.
15. Farber, S. K., Kuzmik, N. S., & Bryukhanov, N. V. (2013) Prospects of using SRTM data to solve forest scientific and practical problems. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*. 3, 4. 85–88.
16. Shlepkin, A. A., Shiryayeva, T. A., Shlepkin, A. K., & et al. (2020) On remote sensing of the earth by spacecraft. *Siberian Journal of Science and Technology*. 21, 4. 514–522. DOI 10.31772/2587-6066-2020-21-4-514-522.
17. Kolesnikov, A. A., Kosarev, N. S., Nemova, N. A., & et al. (2023) Creation of a database of technogenically disturbed territories of the Novosibirsk region *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii) [Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)]*. 28, 5. 80–92. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-80-92.
18. Karachevtseva, I. P., Dubov, S. S., Andreev, M. V., & et al. (2023) Open spatial data for the study of territories and digital access services to them. *Kosmicheskie apparaty i tekhnologii [Space vehicles and technologies]*. 7, 2(44). 142–152. DOI 10.26732/J.st.2023.2.07.
19. Mabele, B. K. P. (2020) Fundamentals of the geoinformation database of specially protected natural territories of the Republic of the Congo. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka [Proceedings of Higher educational Institutionsknowledge. Geodesy and aerial photogramphy]*. 64, 5. 596–607. DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-5-596-607.
20. Lee, J.A.; Oh, J.H.; Cha, D.S. (2013) Prediction of Forest Biomass Resources and Harvesting Cost Using GIS. *Journal of Forest and Environmental Science*. 29(1), 81–89.
21. Mokhirev A. P., Rukomoinikov K. P. (2022) Modeling the structure of forest transport flows. Yoshkar-Ola : Volga State University of Technology. 396 p. ISBN 978-5-8158-2263-4.
22. Mokhirev A., Medvedev S. Assessment of road density in logging areas using geographic information systems. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 507. 12–22.

23. Mokhirev A. P., Rezinkin S. Yu., Medvedev S. O., Bragina N. A. (2020) The use of geographical information systems in assessing the density of roads in logging areas *Vestnik SGUGiT [Bulletin of SGUGiT]* 25, 3. 181–191. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-181-191.
24. Grigolato S., Mologni O., Cavalli R (2017) GIS applications in forest operations and road network planning: An overview over the last two decades. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 38 (2): 175–186.
25. Jenness J. (2013) DEM Surface Tools for ArcGIS. Flagstaff : Jenness Enterprises, 2013. – 95 p.

#### **Author details**

*Aleksandr P. Mokhirev* – D. Sc., Professor.

*Sergey O. Medvedev* – Ph. D., Senior Researcher.

*Maria O. Yakusheva* – Researcher.

*Mikhail A. Zyryanov* – Ph. D., Associate Professor, Researcher.

Received 20.02.2024

© A. P. Mokhirev, S. O. Medvedev, M. O. Yakusheva, M. A. Zyryanov, 2024