

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 528.91:625:630*3

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-181-191

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОЦЕНКЕ ПЛОТНОСТИ ДОРОГ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ

Александр Петрович Мохирев

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева», 662543, Россия, г. Лесосибирск, ул. Победы, 29, кандидат технических наук, доцент, тел. (39145)6-28-03, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

Сергей Юрьевич Резинкин

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева», 662543, Россия, г. Лесосибирск, ул. Победы, 29, студент магистратуры, тел. (39145)6-28-03, rogz31@mail.ru

Сергей Олегович Медведев

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева», 662543, Россия, г. Лесосибирск, ул. Победы, 29, кандидат экономических наук, доцент, тел. (39145)6-28-03, medvedev_serega@mail.ru

Наталья Александровна Брагина

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева», 662543, Россия, г. Лесосибирск, ул. Победы, 29, студент магистратуры, тел. (39145)6-28-03, bragina.n.a@mail.ru

В России густота лесных дорог значительно ниже, чем в странах с развитой лесной промышленностью. Это отрицательно сказывается на эффективности лесозаготовок и выход древесины с единицы площади. Существуют различные мнения по нормативным и фактическим значениям плотности лесных дорог в лесных регионах России. На сегодняшний день оценку густоты лесных дорог и анализ ее развития возможно провести с использованием современных географических информационных систем (ГИС). В настоящих исследованиях определяется плотность лесных дорог с использованием программного комплекса ArcGis на территории двух лесничеств Красноярского края. Дороги, находящиеся на территории исследуемых участков, оцифрованы и разделены по типам: магистраль круглогодочного действия, ветка, лесовозный ус. С использованием инструментов программного комплекса определены протяженности и плотности дорог по их типам. Полученные значения согласуются показателями других исследователей различных регионов России. Результаты данной задачи необходимы для планирования лесозаготовительного производства при поиске оптимальных маршрутов доставки древесины с учетом природно-климатических условий. Использование инструментов ArcGIS позволило автоматизировать значительное число расчетов в исследовании и, в частности, рассчитать плотность дорог, визуализировать полученные данные, а также сформировать базу для дальнейших исследований.

Ключевые слова: плотность дорог, географическая информационная система, лесная дорога, густота дорог, лесная инфраструктура, обработка информации.

Введение

Непрерывное и неистощительное лесопользование напрямую зависит от доступности лесных ресурсов. На сегодняшний день вопрос о доступности древесных ресурсов освещен в трудах многих отечественных и зарубежных ученых, предлагаются различные алгоритмы сравнения участков лесного фонда, методики подсчета ренты и стоимости лесовосстановления, формулы для определения плановой рентабельности по участку и др. [1–5]. Различия в мнениях по доступности имеются, но практически все исследователи приходят к выводу, что основной проблемой является неразвитость транспортного освоения лесных территорий. Особенно остро данная проблема стоит в северных лесопромышленных регионах.

Существуют различные мнения ученых о том, какой должна быть нормативная плотность лесных дорог для качественного выполнения лесохозяйственных работ. Исследователями Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии определено, что для полного охвата насаждений лесохозяйственными мероприятиями необходимо минимум 10–15 км лесных дорог на 1 тыс. га земель лесного фонда [1]. По мнению других исследователей [2] – оптимальное значение плотности лесных дорог – 6 км/тыс. га. Неясно, что является основой расчета плотности лесных дорог – значения, определенные для оптимального уровня этого показателя, различаются в 2,5 раза. Возможно, расчет производился для разных категорий дорог. Но даже нижняя граница норматива для большинства лесопользователей уже невыполнима. При этом выход древесины с 1 га леса в год находится в прямой зависимости от степени развитости инфраструктуры [2].

Страны с наиболее интенсивным лесным хозяйством (Швеция, Финляндия) обычно характеризуются наибольшей плотностью и лучшим качеством лесных дорог. Высокая степень доступности лесов делает возможным и выгодным проведение в этих странах интенсивного ухода за лесами, что в результате позволяет существенно повысить их

продуктивность. В странах Центральной Европы и США вводятся законодательные ограничения на максимальную плотность лесных дорог с целью сохранения экосистемы, тогда как в развивающихся странах наблюдается их активное строительство для увеличения объема заготовки леса, которое часто лишено должных эколого-экономических оснований.

Например, в Финляндии существует специальная методика определения оптимальной плотности сети лесных дорог. Она достигается путем минимизации затрат на строительство и эксплуатацию дороги, а также затрат на перевозку лесоматериалов путем сокращения расстояний перевозки: чем дальше от лесной дороги находится лесосека, тем дороже обходится заготовка древесины; чем плотнее дорожная сеть, тем выше затраты на строительство и эксплуатацию. Таким образом, оптимизация плотности сети дорог сводится к задаче сравнения затрат на перевозку лесоматериалов с затратами на строительство [3].

В России средняя плотность лесных дорог 1,2 км/тыс. га, т. е. меньше по сравнению с другими странами [4]. По мнению С. В. Починкова, сравнение плотности лесных дорог России с другими странами мира некорректно, так как плотность зависит от двух параметров: предельного расстояния трелевки древесины по лесосечным волокам и концентрации экономически доступных лесосырьевых ресурсов. Первый параметр примерно одинаков для всех стран, поэтому в расчете на освоенную лесную территорию плотность лесовозных дорог везде одинакова. Существенна разница в удельной протяженности дорог на 1 м³ заготовки: она зависит от продуктивности насаждений. Если брать всю площадь, то плотность дорог будет тем меньше, чем больше экономически недоступных ресурсов и больше лесов, не вовлеченных в эксплуатацию.

На сегодняшний день в России доля экономически недоступных ресурсов ввиду слабого спроса и слабо развитой транспортной инфраструктуры значительна и колеблется в зависимости от региона и лесничества на уровне 20–80 % (низкобонитетные леса и насаждения с высокой долей лиственных

пород). Кроме того, еще достаточно много «нетронутых» лесов. Следовательно, без учета всех этих факторов любые межнациональные сопоставления некорректны [5]. Однако с точки зрения С. В. Починкова можно не согласиться. Во-первых, низкий выход древесины с 1 га лесной площади в России объясняется, прежде всего, недостаточной плотностью лесных дорог; во-вторых, продуктивность насаждений (качество) также зависит от транспортной доступности лесов; в-третьих, низкая плотность транспортной сети является причиной недоступности значительных площадей лесного фонда для промышленной эксплуатации, неэффективной охраны лесов от пожаров и неудовлетворительного объема лесовосстановления [6].

Для наиболее точного и актуального определения плотности лесных дорог целесообразно использовать методы, отображающие пространственное развитие территории. Наиболее подходящими технологиями для решения таких задач являются географические информационные системы. Географические информационные системы для решения задач в лесном хозяйстве и природопользовании в последнее время используют довольно часто [7–9], в том числе и для решения транспортных задач [10–12]. Применение ГИС позволяет оперативно анализировать пространственные данные, визуально отображать результаты анализа планировать лесохозяйственное и лесозаготовительное производство [13–15].

На сегодняшний день существует несколько географических информационно-аналитических систем для использования в лесозаготовках, разработанных в основном за рубежом. Одной из первых систем была система ASICAM, разработанная в Чили и использующая эвристический метод и имитационное моделирование, для определения оптимальных маршрутов. В системе MaxTour, разработанной в Квебеке (Канада), используется метод Кларка-Райта для составления оптимальных маршрутов при заранее известном плане поставок, в котором деланки и поставляемые партии четко распределены по потребителям.

Шведская система RuttOpt использует гибридный метод, объединяющий метод поиска с запретами с решением задачи линейного программирования. Система FlowOpt, также разработанная в Швеции, использует методы линейного программирования для решения задач стратегического и тактического планирования транспортного процесса в лесном комплексе.

Исследовав рынок программных продуктов, предназначенных для работы с географической информацией, мы остановили свой выбор на группе настольных продуктов ArcGISforDesktop, разработанный специалистами компании ESRI. ArcGIS обладает большим инструментарием для обработки географической информации, ее хранения, предоставления пользователю в различных видах, глубокого анализа и моделирования различных ситуаций.

Методы и материалы

В рамках настоящих исследований объектом будут являться Хребтовское и Гремучинское лесничества Красноярского края (рис. 1). Общая площадь земель лесного фонда Гремучинского лесничества составляет 1 209 495 га, Хребтовского – 824 918 га. На данной территории лесозаготовки активно ведутся несколько десятилетий. Площадь освоенных территорий составляет 1 383 400 га.

Основная часть заготавливаемой древесины автомобильным транспортом вывозится до р. Ангары, далее по воде транспортируется в плотках до г. Лесосибирска. Территория характеризуется равнинным и холмистым рельефом. По лесничествам проложены автомобильные автомагистрали круглогодочного действия, связывающие р. Ангару и северные территории лесничества. От данных дорог ответвляются ветки и зимние лесовозные усы.

Для анализа территории и расчета плотности дорог используется программный комплекс ArcGis. Создание цифровой базы данных выполнено с использованием современных технических программных средств ArcGis [16–19].

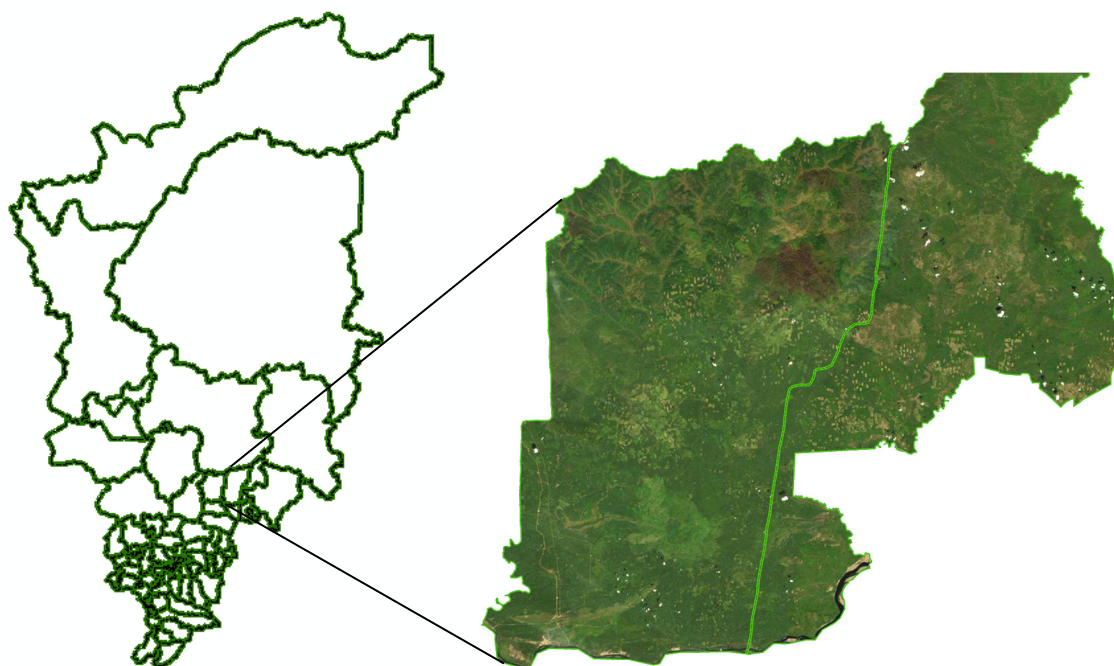


Рис. 1. Расположение исследуемых лесничеств в Красноярском крае

Система ArcGIS представляет собой масштабируемую среду для создания полноценной ГИС. ArcGIS Desktop – это набор различных программных приложений для создания, редактирования, глубокого анализа и распространения географической информации. В ArcGIS имеются наборы инструментов и географических данных, используя которые, можно моделировать различные процессы, а на основе полученных результатов прогнозировать развитие ситуации.

Инструмент Line Density вычисляет плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки выходного растра. Плотность вычисляется в единицах длины на единицу площади.

Концептуально, вокруг центра каждой ячейки растра строится окружность, радиус которой равен радиусу поиска. Длина части каждой линии, которая попадает внутрь окружности, умножается на значение величины поля Population (Численность). Эти числа суммируются, и результат делится на площадь круга.

Существующая сеть анализируется относительно уклонов местности. Для этого с помощью инструмента геообработки «Slope»

из набора инструментов «Spatial Analyst» производится обработка полученных данных SRTM [20]. SRTM (Shuttle radar topographic mission) – это радарная топографическая съемка, охватывающая большую часть территории Земли. Исключение составляют самые северные (> 60) и самые южные (> 54) широты и океаны. По этой причине на части северной территории анализируемых лесничеств уклоны не определены.

Результаты и дискуссия

Дороги различных категорий оцифрованы и добавлены в систему ArcGIS. На рис. 2 представлены дороги на карте уклонов анализируемых лесничеств.

Как видно из рис. 2, лесозаготовки и соответственно транспортная сеть развиваются в северо-восточном направлении с преимущественными уклонами на территории менее 7° .

Согласно методике, с использованием инструментов ArcGIS рассчитана плотность дорог относительно всей площади, освоенной лесозаготовками, результаты представлены в таблице.

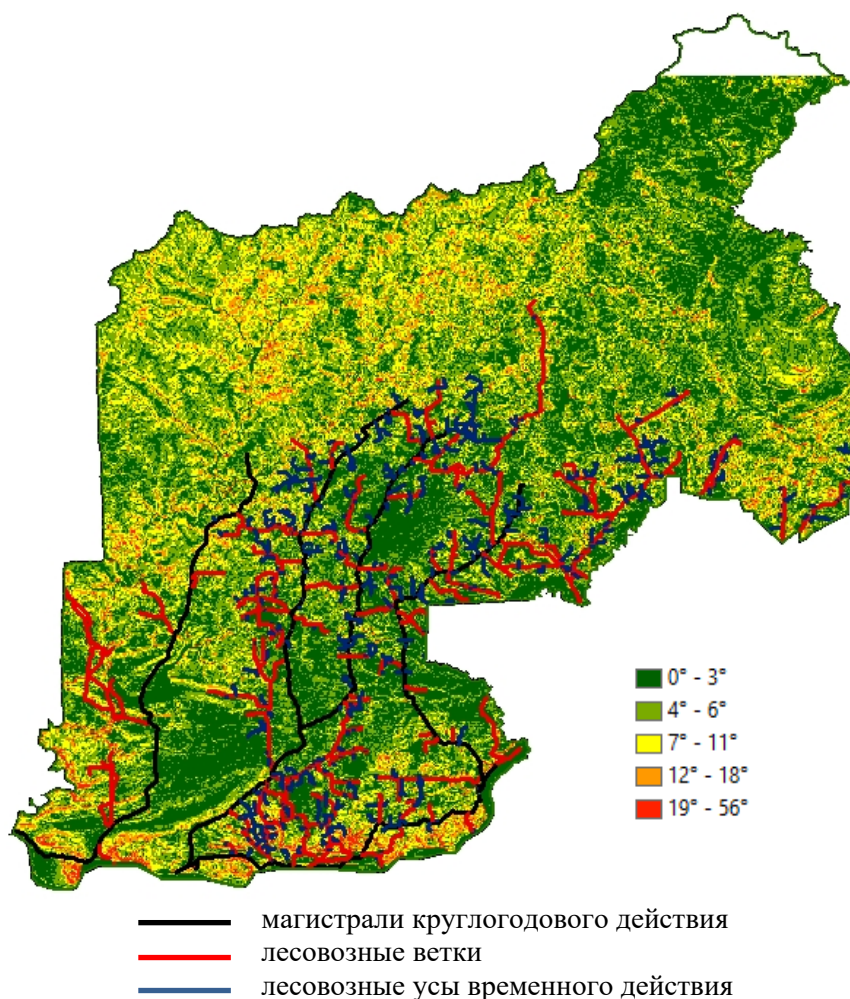


Рис. 2. Транспортная сеть и уклоны анализируемых лесничеств

Показатели транспортной сети территории Хребтовского и Гремучинского лесничеств

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

Согласно полученным данным большая часть эксплуатируемых дорог приходится на лесовозные ветки (рис. 3). Предприятия не желают вкладываться в дорогостоящую магистраль круглогодичного действия. Строительство веток позволяет им осваивать террито-

рию без больших инвестиций на протяжении 5–10 лет. Магистрали круглогодочного имеют наименьшую протяженность, что отрицательно сказывается на транспортных затратах. В целом, плотность лесных дорог (магистрали и ветки) на рассматриваемой терри-

тории находится в пределах среднего показателя по России. Однако основная часть дорог приходится на 68 % освоенной части лесного фонда. Это говорит о том, что распределение плотности неравномерное, что сказывается на доступности лесных ресурсов и эффективности их транспортировки. Оценивая территориально распределение плотности дорог (рис. 4), можно выделить несколько участков с наибольшей густотой. На основной же части территории данный показатель крайне низкий.

По мнению авторов, такой подход к решению задачи наиболее точно и быстро определяет плотность лесовозных дорог. Данный показатель характеризует развитую инфраструктуру на лесной площади.

Полученные результаты согласуются с известными представлениями [21, 22] о плотности лесовозных дорог. Густота дорог в рассматриваемых лесничествах на порядок ниже, чем в странах с развитой лесной промышленностью.

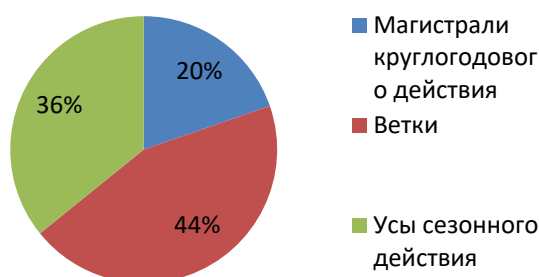


Рис. 3. Распределение типов дорог на рассматриваемой территории

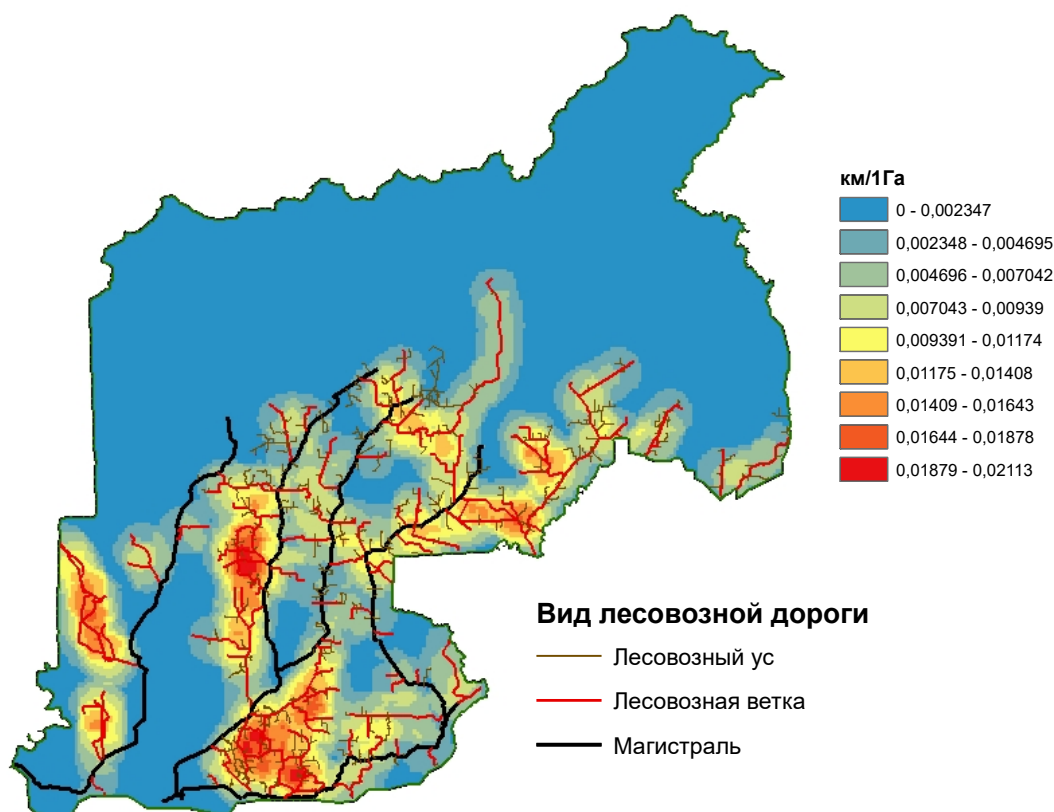


Рис. 4. Территориальное распределение плотности дорог

Результаты данной задачи необходимы для планирования лесозаготовительного производства при поиске оптимальных маршрутов доставки древесины с учетом природно-климатических условий [23]. Для этого требуется имеющуюся или проектируемую сеть дорог проанализировать с учетом уклонов местности, встречающихся преград в виде рек и ручьев. В первую очередь по сети дорог строится граф. Также данные исследования возможно применять для определения доступности лесных ресурсов в программах развития регионов и лесопромышленных предприятий [24–28].

Заключение

В результате исследования установлено, что лесозаготовки и соответственно транспортная сеть исследуемых территорий развиваются преимущественно в северо-восточном направлении. Данный факт обусловлен, прежде всего, природно-климатическими особенностями региона, а также меньшим потенциалом в развитии альтернативных направлений. Именно в северо-восточном направлении, как показывает практика, развивается вся лесозаготовительная отрасль Красноярского края, где сохраняются наибольшие запасы нетронутых древостоев.

Использование инструментов ArcGIS позволило автоматизировать значительное число расчетов в исследовании и, в частности, рассчитать плотность дорог, визуализировать полученные данные, а также сформировать базу для дальнейших исследований. Ключевое

направление последних – это оценки доступности древесных ресурсов Красноярского края, в том числе его северных регионов. Также важным аспектом, для чего крайне необходимы современные информационные технологии, является соотнесение функционирования как текущего, так и перспективного с жизнедеятельностью коренных малочисленных народов Севера, конфликтные и спорные ситуации с которыми возникают здесь достаточно часто [29].

Картографирование по выше описанным темам, с использованием географических информационных систем позволит анализировать лесную инфраструктуру и актуально планировать ее развитие.

Результатом же продолжающихся исследований должен стать перспективный план развития лесной инфраструктуры Красноярского края с учетом комплекса взаимовлияющих факторов и необходимостью повышения доступности древесных ресурсов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках научного проекта № 20-410-242901 и в рамках проекта «Разработка фундаментальных основ проектирования лесной инфраструктуры как динамически изменяемой системы в условиях деятельности лесозаготовительного производства», № 19-410-240005 поддержанного за счет средств целевого финансирования, предоставленного РФФИ, Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесные дороги : справочник / под ред. Э. О. Салминена. – СПб. : Лань, 2012. – 496 с.
2. Кислухина И. А., Поливодин Э. С. Финансовые и экологические проблемы строительства лесовозных дорог круглогодичного действия // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2012. – № 32. – С. 155–160.
3. Герасимов Ю., Катаров В. Лесные дороги / под ред. Э. Вялкю, С. Карвинен. – Йоэнсуу : НИИ леса Финляндии METLA, 2009. – 70 с.
4. Тюрин Н. А., Громская Л. Я. Оптимизация структуры транспортной сети лесозаготовительно-
- го предприятия // Изв. Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2009. – № 186. – С. 72–77.
5. Починков С. В. Проблемы российского лесопользования. – Вологда, 2015. – 359 с.
6. Богомолова Е. Ю., Давыдова Г. В. Влияние плотности лесных дорог на объем и качество лесопромышленных и лесохозяйственных работ // Известия Байкальского государственного университета. – 2016. – Т. 26, № 2. – С. 284–290.
7. Пахахинова З. З., Батоцыренов Э. А., Бешенцев А. Н. Картографическая регистрация базовых пространственных объектов для монито-

- ринга природопользования // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 2 (34). – С. 94–104.
8. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk territory as a case study) / A. P. Mokhiev, M. O. Pozdnyakova, S. O. Medvedev, V. O. Mammатов // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – Т. 16, № 3. – С. 313–319. DOI: 10.5937/jaes16-16908.
9. Лисицкий Д. В., Хорошилов В. С., Бугаков П. Ю. Картографическое отображение трехмерных моделей местности // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 98–102.
10. ГИС в решении транспортных проблем [Электронный ресурс] // ArcReview. – 2016. – № 1 (76). – Режим доступа: <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=23327>.
11. ГИС и транспорт [Электронный ресурс] // ArcReview. – 2007. – № 3 (42). – Режим доступа: <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1366>.
12. Gerasimov Yu. Yu., Sokolov A. P., Karjalainen T. GIS-based decision-support program for short-wood transport in Russia // The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations (Copenhagen September 23–25, 2008). – Copenhagen : Forest & Landscape Working Papers, 2008. No. 30.
13. Мохирев А. П., Горяева Е. В., Егармин П. А. Создание геоинформационного ресурса для планирования лесозаготовительного производства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 137–153.
14. Ромичева Е. В. Методы обработки и визуализации больших данных // Аллея науки. – 2017. – Т. 3, № 16. – С. 976–982.
15. Bill Franks. Taming the big data tidal wave: finding opportunities in huge data streams with advanced analytics. – John Wiley & Sons, Inc., 2012. – 336 p. – DOI: 10.1002/9781119204275.
16. Jenness J. Dem surface tools for ARCGIS [Electronic resource] // Tools for Graphics and Shapes: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises. – Flagstaff, 2013. – 95 p. – Mode of access: http://www.jennessent.com/arcgis/shapes_graphics.htm.
17. ESRI. 3D Analyst-ArcView Extension [Electronic resource]. Review is available at. – Mode of access: <http://www.esri.com/software/arcview/extensions/3dext.html>.
18. Yankovich E. P., Baranovskiy N. V., Yankovich K. S. ARCGIS for assessment and display of the probability of forest fire danger // The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Advanced Technology: Recent Trends and their Implications. – Bangladesh : At Cox's Bazar, 2014. – P. 222–225. DOI: 10.1109/IFOST.2014.6991108.
19. Басаргин А. А., Бугаков П. Ю., Кацко С. Ю. Решение логистических задач на основе обработки геопространственных данных с помощью модуля TRACKING ANALYST в составе ARCGIS // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 1. – С. 83–96.
20. Фарбер С. К., Кузьмик Н. С., Брюханов Н. В. Перспективы использования данных SRTM для решения лесных научно-практических задач // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Международ. науч. конгр. : Международ. 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.
21. Громская Л. Я., Тюрин Н. А., Козулина В. А. Измерители комплексной оценки транспортного освоения лесов // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2014. – № 2 (166). – С. 83–85.
22. Мохирев А. П., Болотов О. В. Проектирование сети лесных дорог на примере предприятий Красноярского края : монография. – Красноярск : СибГТУ, 2010. – 178 с.
23. Mokhiev A., Gerasimova M., Pozdnyakova M. Finding the optimal route for transportation of wood [Electronic resource] // IOP Conf. Ser.: Earth Environ, Sci. – 2019. – Vol. 226. – P. 012–053. – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/>. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012053.
24. Оценка доступности лесных ресурсов с использованием современных методик на базе географических информационно-аналитических систем / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, С. Ю. Резинкин, В. О. Мамматов // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4 (28). – С. 109–122. DOI: 10.12737/article_5a3cf0de38c188.71430470.
25. Bredstrom D., Jonsson P., Ronnqvist M. Annual planning of harvesting resources in the forest industry // International transactions in operational research. – 2010. – № 17. – P. 155–177.
26. Decisions and methodology for planning the wood fiber flow in the forest supply chain / D. Carlsson, S. D'Amours, A. Martel, M. Rönnqvist // Recent developments in supply chain management ; eds.: R. Koster and W. Delfmann. – Helsinki : University Press, 2008. – P. 11–39.
27. Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway / E. Tromborg et al. // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2009. – № 24 (4). – P. 354–366.

28. Мохирев А. П., Резинкин С. Ю. Решение задач планирования лесопромышленного производства с использованием географической информационной системы // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 2 (30). – С. 169–173. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-169-173.

29. Самсонова И. В., Неустроева А. Б., Павлова М. Б. Проблемы взаимодействия коренных малочисленных народов Севера и добывающих компаний в Республике Саха (Якутия) // Социодинамика. – 2017. – № 9. – С. 21–37. DOI: 10.25136/2409-7144.2017.9.23852.

Получено 13.03.2020

© А. П. Мохирев, С. Ю. Резинкин, С. О. Медведев, Н. А. Брагина, 2020

USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN THE EVALUATION OF THE DENSITY OF ROADS OF FORESTRY AREAS

Aleksandr P. Mokhirev

Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 29, Pobedy St., Lesosibirsk, 662543, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (39145)6-28-03, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

Sergey Yu. Rezinkin

Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 29, Pobedy St., Lesosibirsk, 662543, Russia, Master Student, phone: (39145)6-28-03, e-mail: pogz31@mail.ru

Sergey O. Medvedev

Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 29, Pobedy St., Lesosibirsk, 662543, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (39145)6-28-03, e-mail: medvedev_serega@mail.ru

Nataliya A. Bragina

Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 29, Pobedy St., Lesosibirsk, 662543, Russia, Master Student, phone: (39145)6-28-03, e-mail: bragina.n.a@mail.ru

In Russia, the density of forest roads is significantly lower than in countries with developed forest industries. This negatively affects the efficiency of logging and the yield of wood per unit area. There are different opinions about the normative and actual values of the density of forest roads in the forest regions of Russia. Today, it is possible to assess the density of forest roads and analyze its development using modern geographic information systems (GIS). In these studies, the density of forest roads is determined using the ArcGis software package in the two forest districts of Krasnoyarsk Territory. The roads located on the territory of the studied sections are digitized and divided by types: highway of year-round operation, branch, logging mustache. Using the tools of the software package, the lengths and densities of roads are determined by their types. The obtained values are consistent with the indicators of other researchers from different regions of Russia. The results of this task are necessary for the planning of logging production when searching for optimal routes for wood delivery, taking into account the natural and climatic conditions. Using ArcGIS tools allowed us to automate a significant number of calculations in the study and, in particular, calculate the density of roads, visualize the data obtained, and also form the basis for further research.

Key words: road density, geographical information system, forest road, road density, forest infrastructure, information processing.

REFERENCES

1. Salminen E. O. (Ed.). (2012). *Lesnye dorogi [Forest roads]*. Saint Petersburg: Lan' Publ., 496 p. [in Russian].
2. Kislukhina, I. A., & Polivodin, Eh. S. (2012). Financial and environmental problems of the construction of logging roads year-round activity. *Actual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual Problems of Forest Complex]*, 32, 155–160 [in Russian].
3. Gerasimov, Yu. A., & Katarov, V. (2009). *Lesnye dorogi [Forest roads]*. E. H. Vyalkkyu, & S. Karvinen. Joensuu: METLA forest research Institute of Finland. p. 70 [in Russian].

4. Tyurin, N. A., & Gromskaya, L. Ya. (2009). Optimization of the structure of the transport network of logging enterprises. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Bulletin of Saint-Petersburg Forestry Academy]*, 186, 72–77 [in Russian].
5. Pochinkov, S. V. (2015). *Problemy rossiyskogo lesopol'zovaniya [Problems of Russian forest management]*. Vologda, 359 p. [in Russian].
6. Bogomolova, E. Yu., & Davydova, G. V. (2016) Influence of the density of forest roads on the volume and quality of timber industry and forestry work. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of the Baikal State University]*, 26(2), 284–290 [in Russian].
7. Pakhakhinova, Z. Z., Batotsyrenov, Eh. A., & Beshentsev, A. N. (2016). Cartographic registration of basic spatial objects for environmental monitoring. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(34), 94–104 [in Russian].
8. Mokhirev, A. P., Pozdnyakova, M. O., Medvedev, S. O., & Mammатов, V. O. (2018). Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk territory as a case study). *Journal of Applied Engineering Science*, 16(3), 313–319. DOI: 10.5937/jaes16-16908.
9. Lisitskij, D. V., KHoroshilov, V. S. & Bugakov, P. Yu. (2012). Mapping three-dimensional terrain models. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2/1, 98–102 [in Russian].
10. GIS in solving transport problems. (2016). *ArcReview*, 1(76). Retrieved from <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=23327> [in Russian].
11. GIS and transport. (2007). *ArcReview*, 3(42). Retrieved from <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=1366> [in Russian].
12. Gerasimov, Yu. Yu., Sokolov, A. P., & Karjalainen T. (2008). GIS-based decision-support program for short-wood transport in Russia. *The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations: No. 30*. Copenhagen: Forest & Landscape Working Papers.
13. Mokhirev, A. P., Goryaeva, E. V., & Egarmin, P. A. (2017). Creating a geographic information resource for planning logging operations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(2), 137–153 [in Russian].
14. Romicheva, E. V. (2017). Methods for processing and visualizing big data. *Alleya nauki [Science Alley]*, 3(16), 976–982 [in Russian].
15. Bill Franks. (2012). *Taming the big data tidal wave: finding opportunities in huge data streams with advanced analytics*. John Wiley & Sons, Inc., 336 p. DOI: 10.1002/9781119204275.
16. Jenness J. (2013). *Dem surface tools for ARCGIS. Tools for Graphics and Shapes: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises*. (95 p.). Flagstaff. Retrieved from http://www.jennessent.com/arccgis/shapes_graphics.htm.
17. ESRI. (n. d.). 3D Analyst-ArcView Extension. Review is available at. Retrieved from http://www.esri.com/software/arcview/extensions/3d_ext.html.
18. Yankovich, E. P., Baranovskiy, N. V., & Yankovich, K. S. (2014). ARCGIS for assessment and display of the probability of forest fire danger. *The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Advanced Technology: Recent Trends and their Implications* (pp. 222–225). Bangladesh: At Cox's Bazar.
19. Basargin, A. A., Bugakov, P. Yu. & Katsko, S. Yu. (2019). Solving logistics tasks based on processing geospatial data using the tracking ANALYST module in ARCGIS. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(1), 83–96 [in Russian].
20. Farber, S. K., Kuz'mik, N. S., & Bryukhanov, N. V. (2013). Prospects of use of data of SRTM for the solution of forest scientific and practical tasks. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. T. 4. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodoopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 4. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management]* (pp. 85–88). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
21. Gromskaya, L. Ya., Tyurin, N. A., & Kozulina, V. A. (2014). Measuring integrated assessment of the transport development of forests. *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrabatvyvayushchaya promyshlennost' [Proceedings of BSTU. Forestry and Woodworking Industry]*, 2(166), 83–85 [in Russian].
22. Mokhirev, A. P., & Bolotov, O. V. (2010). *Proektirovanie seti lesnykh dorog na primere predpriyatii Krasnoyarskogo kraja [Designing a network of forest roads on the example of enterprises in the Krasnoyarsk territory]*. Krasnoyarsk: SibSTU Publ., 178 p. [in Russian].
23. Mokhirev, A., Gerasimova, M. & Pozdnyakova, M. (2019). Finding the optimal route for transportation of wood. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ, Sci.: Vol. 226* (pp. 012–053). Retrieved

from <https://iopscience.iop.org/article/>. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012053.

24. Mokhirev, A. P., Pozdnyakova, M. O., Rezinkin, S. Yu., & Mammатов, V. O. (2017). Assessment of availability of forest resources using modern methods based on geographical information and analytical systems. *Lesotekhnicheskij zhurnal [Forest Engineering Journal]*, 4(28), 109–122. DOI: 10.12737/article_5a3cf0de38c188.71430470 [in Russian].

25. Bredstrom, D. Jonsson, P., & Ronnqvist M. (2010). Annual planning of harvesting resources in the forest industry. *International Transactions in Operational Research*, 17, 155–177.

26. Carlsson, D., D'Amours, S., Martel, A., & Rönqvist, M. (2008). Decisions and methodology for planning the wood fiber flow in the forest supply chain. Recent developments in supply chain man-

agement (pp. 11–39). R. Koster & W. Delfmann (Eds.). Helsinki: University Press.

27. Tromborg E. et al. (2009). Economic and environmental impacts of transport cost changes on timber and forest product markets in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(4), 354–366.

28. Mokhirev A. P. & Rezinkin S. Yu. (2016). Solving problems of planning timber production using a geographical information system *Sistemy. Metody. Tekhnologii [The System. Methods. Technologies]*, 2(30), 169–173. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-169-173 [in Russian].

29. Samsonova, I. V., Neustroeva, A. B. & Pavlova, M. B. (2017). Problems of interaction between indigenous peoples of the North and mining companies in the Republic of Sakha (Yakutia). *Sotsiodinamika [Sociodynamics]*, 9, 21–37. DOI: 10.25136/2409-7144.2017.9.23852 [in Russian].

Received 13.03.2020

© A. P. Mokhirev, S. Yu. Rezinkin, S. O. Medvedev, N. A. Bragina, 2020