

10. Houghton R.A. Terrestrial carbon storage: Global lessons for Amazonian research // *Ciencia a Cultura Journal*. 1997. № 12. P. 146-152
11. Цена экологических услуг России / К.Я. Кондратьев, К.С. Лосев, М.Д. Ананичева, И.В. Чеснокова // *Вест. Рос. акад. наук*. 2003. Т. 73. № 1. С. 3-13.
12. Contribution of temperate forests to the world's carbon budget / L.S. Heath, P.E. Kauppi, P. Burschel et al. // *Water, air and soil pollution*. 1993. № 70 (1-4). P. 55-69.
13. Sedjo R.A. Temperate forest ecosystems in global carbon cycle // *Ambio*. 1992. Vol. 21(4). P. 274-277.
14. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere / Ch.L. Goodale, M.J. Apps, R.A. Birdsey [et al.] // *Ecol. Appl.* 12(3). 2002. P. 891-899.
15. Forest area and area change // *Global forest resources assessment 2000 – Main report*. 2001. Vol. 140. P. 1-15.
16. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 176 с.
17. Попов Л.В. Южнотаежные леса Средней Сибири. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1982. С. 52–60.
18. Пузаченко Ю.Г., Сиунова Е.В. Построение и обновление почвенной карты на основе дистанционной информации (Landsat 7) и трехмерной модели рельефа // *Экология в современном мире: взгляд научной молодежи: материалы Всерос. конф. Улан-Удэ: Изд-во ГУЗ РЦМП МЗ РБ, 2007. С. 301-308*
19. Щербатюк А.С. Многоканальные установки с CO<sub>2</sub>-газоанализаторами для лабораторных и полевых исследований // *Инфракрасные газоанализаторы в изучении газообмена растений: сб. науч. ст. М.: Наука, 1990. С. 38–54.*
20. Суворова Г.Г. Фотосинтез и рост хвойных лесостепного Предбайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1992. 19 с.
21. Алексеев В.Н., Берси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т Леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 218 с.
22. Лесотаксационный справочник / Б.И. Грошев, С.Г. Сеницын, П.И. Мороз, И.П. Сергеевич. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.
23. Лонг С.П., Холлгрэн Д.Е. Измерение ассимиляции CO<sub>2</sub> растениями в полевых и лабораторных условиях // *Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения: сб. науч. ст. М., 1989. 115 с.*

УДК 630.7

*А.П. Мохирев\**, *П.А. Егармин*

### **ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА**

*Разработана система, основанная на нескольких компьютерных программах и ГИС-технологиях, оптимизирующая процесс освоения лесного фонда. Программы оптимизируют лесозаготовительные, транспортные и лесохозяйственные процессы.*

**Ключевые слова:** схема лесных дорог, геоинформационные системы, экономическая доступность лесного фонда, планирование освоения лесного фонда, лесной фонд, лесные дороги, план рубок.

**Актуальность темы.** Лесозаготовительная деятельность после кризиса 90-х переживает не лучшие времена: все деньги бизнеса и государства брошены на освоение ресурсов, которые более востребованы и быстрее окупаются. Кроме того, обезлесенные европейские территории России, варварские вырубki беспokoят экологов, а они, в свою очередь, создают дополнительные препятствия для эф-

фективной заготовки леса. Все эти факторы не позволяют эффективно развивать лесозаготовительную деятельность. Рациональное, неистощимое и непрерывное лесопользование требует больших вложений для создания инфраструктуры. Отсутствие полноценной инфраструктуры для освоения лесного фонда сегодня одна из ключевых проблем в лесозаготовительной отрасли.

---

\* - автор, с которым следует вести переписку.

Для всего лесопромышленного комплекса, и особенно его лесозаготовительного сектора, проблема отсутствия развитой инфраструктуры – одна из ключевых. Самое слабое звено – дорожная сеть. Без развитой дорожной сети невозможно вести рациональное лесопользование.

Получается замкнутый круг: неразвитость инфраструктуры, в первую очередь, дорожной сети приводит к низкому освоению расчетной лесосеки. Малые объемы лесозаготовки являются препятствием в создании перерабатывающих мощностей, а их отсутствие лишает финансовой возможности инвестировать в развитие дорожной сети. Разрешить эту проблему можно только через инвестирование средств в создание обслуживающей инфраструктуры проекта, не нарушив при этом социальные, экологические и другие нормы.

Задача по созданию плана освоения лесного фонда, учитывающего множество природно-климатических и технико-экономических факторов, может решиться только с помощью информационных технологий. Информационные технологии в лесной промышленности развиваются очень слабо, однако возможности географико-информационных систем в настоящее время высоки.

В результате проведенных отечественными учеными исследований определена методологическая основа, разработаны различные методики проектирования схемы сети лесных дорог, планирования оптимального освоения лесных ресурсов. Однако до настоящего времени отсутствует надежная и эффективная универсальная методика, позволяющая на основе системного подхода, математического моделирования, оптимизации, информационных технологий комплексно решать задачу планирования оптимального освоения лесного фонда для любых административных или хозяйственных объектов и условий лесопользования. Предлагаемые методы не рассматривают вопросы определения экономической доступности всего ресурсного потенциала объекта исследований на долгосрочную перспективу (при разной возрастной структуре древостоя) с учетом возрастной динамики лесного фонда. Затраты на доставку лесоматериалов до потребителя, как правило, определяются весьма приблизительно – по среднему расстоянию вывозки, либо по кратчайшему расстоянию до пункта доставки древесины, хотя они составляют большую часть (до 60 %) себестоимости круглых лесоматериалов.

Цель настоящей работы: разработка географической информационной системы планирования оптимального освоения лесного фонда, учитывающей основные природно-климатические и технико-экономические факторы, позволяющей оперативно прогнозировать и планировать разработку участков лесного фонда на кратко-, средне- и долгосрочную перспективу.

Поставлены следующие задачи: анализ существующих методов автоматизированного проектирования схемы лесных дорог, определения экономической доступности лесных ресурсов и планирования оптимального освоения участков лесного фонда; выявление основных факторов, влияющих на проектирование сети лесных дорог, экономическую доступность лесных ресурсов и планирование оптимального освоения лесных ресурсов; определение качественного и количественного влияния основных факторов на планирование оптимального освоения лесных ресурсов; выявление транспортных технико-экономических показателей, влияющих на схему сети лесных дорог; разработка методики проектирования схемы сети лесных дорог и определения экономической доступности лесных ресурсов и ее экспериментальное испытание на примере предприятий Нижнего Приангарья; создание системы на основе ГИС, позволяющей осуществить оперативное планирование оптимального освоения лесного фонда на ближайшие 5-10 лет.

**Составляющие системы.** Для нахождения рациональной схемы сети лесных дорог наиболее эффективным способом представляется использование инструментария теории графов (Р.И. Абдюрашитов [1], Э.О. Салминен [2], Г.А. Борисов [3], Р.Н. Ковалев, С.В. Гуров [4], О.В. Болотов, А.П. Мохирев [5, 6]), поскольку одной из основных задач этой теории как раз и является нахождение оптимальных путей. В таком случае, участок лесного фонда представляется в виде связного взвешенного графа, в котором вершины – участки лесного фонда, а ребра – возможные транспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями строительства дорог. В основу графоаналитической модели положен алгоритм построения минимального покрывающего дерева. Математическую модель проектирования оптимальной схемы сети лесовозных дорог можно представить в виде

$$F = \begin{cases} \sum L \rightarrow \min, \text{ при } n=N \\ L_B^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{\text{в}i}}{n} \rightarrow \min \end{cases},$$

где  $F$  – функция, определяющая транспортные затраты;  $n$  – количество участков лесного фонда, до которых планируется строительство дороги;  $N$  – общее количество участков лесного фонда;  $\sum L$  – общая протяженность проектируемых дорог;  $L_B^{cp}$  – среднее расстояние вывозки древесины;  $L_{\text{в}i}$  – расстояние вывозки древесины с  $i$ -того участка.

При изучении данной модели более детально нами была получена функция, главной задачей которой явилась минимизация суммы затрат в условиях отдельного участка лесного фонда:

$$F(t) = (\sum L - L_{\text{сущ}} - \sum L_{\text{мп}})C_{\text{смп}}(t) + L_{\text{вст}}C_{\text{вст}}(t) + \sum_{i=1}^n L_{\text{в}i}C_{\text{в}i}(t)V_{iq}^k(t) + \sum_{j=1}^k L_{\text{мп}j}C_{\text{мп}j}(t) \rightarrow \min$$

где  $F(t)$  – функция, определяющая транспортные затраты в определенный период времени  $t$ ;  $L_{\text{сущ}}$  – протяженность дорог, не требующих строительства (существующих);  $\sum L_{\text{тр}}$  – сумма расстояний участков дорог, имеющих стоимость строительства, отличающуюся от стоимости проектируемой дороги;  $C_{\text{смп}}$  – стоимость строительства одного километра проектируемой лесовозной дороги;  $L_{\text{вст}}$  – протяженность дорог, требующих восстановления (ремонта);  $C_{\text{вст}}$  – стоимость восстановления (ремонта) одного километра дороги;  $C_{\text{в}i}$  – стоимость вывозки одного кубометра древесины на один километр;  $L_{\text{тр}j}$ ,  $C_{\text{тр}j}$  – длина и стоимость строительства  $j$ -того участка лесовозной дороги, отличающегося по стоимости строительства от проектируемой (мосты, заболоченные участки и др.);  $V_{iq}^k(t)$  – объем заготавливаемой древесины  $q$ -той породы в  $i$ -том выделе, возраста  $k$ , в расчетный момент времени  $t$ ;  $k$  – количество участков лесовозной дороги, отличающихся по стоимости строительства от проектируемой дороги.

На основании данных моделей составлена программа проектирования схемы сети лесных дорог. При экспериментальном испытании программы нами выявлено, что она позволяет не только получить оптимальную схему транспортных путей, но и учесть нали-

чие уже проложенных дорог, особенности рельефа местности, наличие рек, болот и пр. Формируемый при этом файл результатов в цифровой или графической форме отображает транспортную схему и необходимую очередность строительства отдельных ее участков.

При определении экономической доступности лесных ресурсов нами изучены технологические процессы заготовки и вывозки древесины на некоторых предприятиях Нижнего Приангарья, калькуляция их себестоимости. Основными факторами, влияющими на лесную ренту, являются: цена получаемой продукции; себестоимость лесозаготовительных работ; затраты на строительство дорог и доставку древесины до потребителя. При этом основная доля (около 40 %) затрат ложится на вывозку древесины, а общие транспортные расходы (строительство и содержание дорог, вывозка древесины) составляют до 60 % от общей себестоимости.

При условии, что некоторая часть дороги, по которой планируется вывозка древесины, уже существует, следует их выделить. В этом случае формула примет вид:

$$\Delta\P = \Pi_{\text{лз}} - ((C_{\text{ст}}L_c)^y + C_{\text{в}} \cdot L),$$

где  $\Pi_{\text{лз}}$  – разность стоимости товарной продукции и затрат на лесозаготовку  $1 \text{ м}^3$  древесины, руб. (франко верхний склад);  $C_{\text{ст}}$  – затраты на строительство, содержание  $1 \text{ км}$  автодорог и вывозку древесины,  $1 \text{ м}^3/\text{км}$ , руб.;  $L$  – расстояние до разрабатываемых участков;  $y$  – показатель степени, зависящий от  $C_{\text{ст}}$  и  $L$ ;  $L_c$  – расстояние пути требующегося строительства дороги;  $C_{\text{в}}$  – затраты на содержание дорог и вывозку древесины,  $1 \text{ м}^3/\text{км}$ , руб.

Компьютерные программы для рациональной схемы сети лесных дорог лежат в основе системы планирования оптимального освоения лесного фонда.

С помощью спутникового снимка определяются характеристики лесного фонда, по уникальным компьютерным программам составляются оптимальная сеть планируемых лесных дорог и план рубок, определяется экономическая доступность лесных ресурсов. В рекомендациях указывается наиболее рациональный и оптимальный вариант освоения лесного фонда. Т. е., когда, как и какого качества требуется построить определенный участок дороги, затратив при этом минимум времени и ресурсов. Очередность, технология и время освоения определенной лесосеки. Все

работы просчитываются, и показывается финансовый результат освоения конкретного участка строительства дороги и освоения лесного фонда.

В разработанной системе, входными данными являются следующие материалы: схема лесонасаждений, окрашенная по преобладающим породам; таксационные описания; схема существующих дорог; топографическая карта данной местности; данные о стоимости: строительства одного километра дороги, содержания одного километра дороги, вывозки 1 м<sup>3</sup> древесины на расстояние одного километра. Этот список может быть дополнен или изменен в соответствии с поставленными задачами. Наиболее простой путь подготовки таких карт – снимки местности со спутника. Для начала работы необходимо ввести значения параметров, требующихся для расчетов. В результате получаем построенную программой сеть лесовозных дорог (пример представлен на рис. 1) и рассчитанную информацию об исследуемом участке (рис. 2).

Данная разработка позволяет использовать в лесопромышленной отрасли экономически

недоступные участки леса в данный момент, учитывая все особенности природных условий, рельефа местности и т. д. Представляется возможность моделирования сети дорог при одновременном определении затрат на создание инфраструктуры, освоение лесного фонда, а также учета возможности лесопользования данным участком. У лесничества появляется возможность самостоятельного получения и печати рабочих вариантов лесных карт интересующего объекта.

Предлагаемая система может быть использована при разработке целевых, отраслевых программ и в проектах освоения лесов на федеральном, региональном и местном уровнях как для лесопользователей, так и для государственных органов исполнительной власти, управления лесным хозяйством и лесоустройства. Система позволяет оперативно планировать и прогнозировать экономически эффективную разработку участков лесного фонда на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективу.

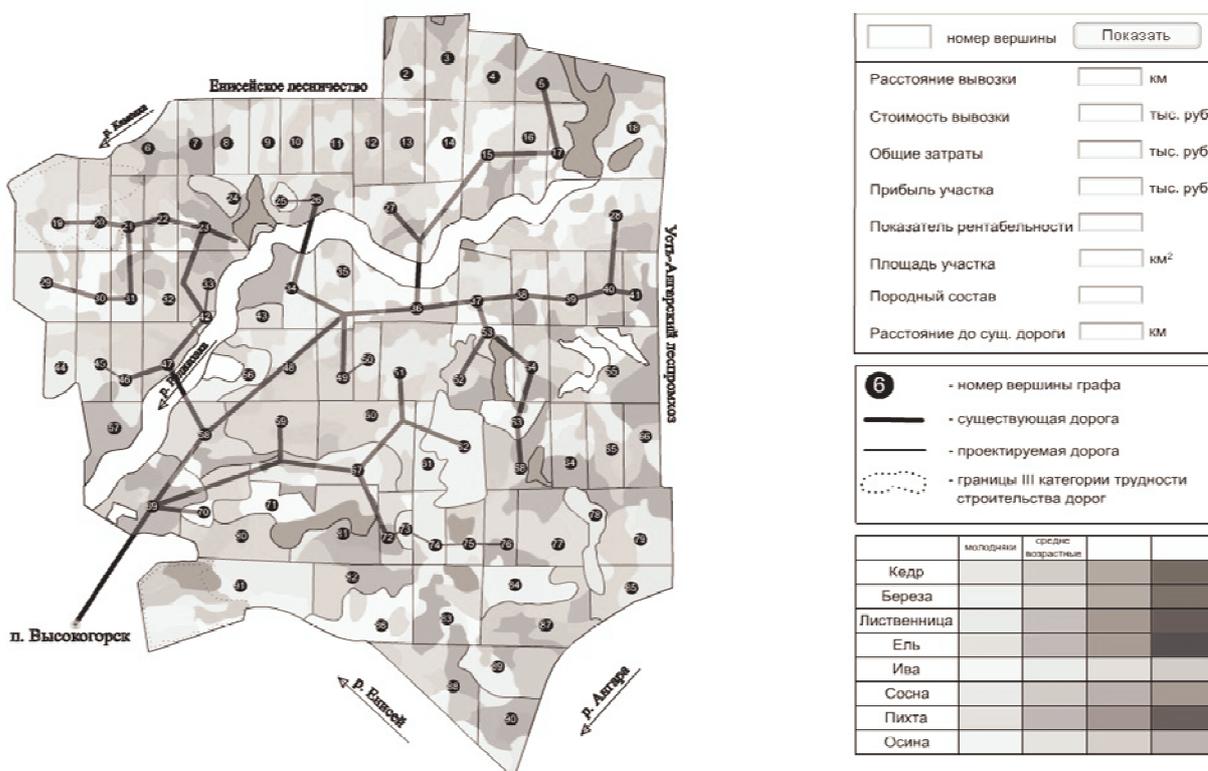


Рис. 1. Пример построенной сети лесных дорог.

83	номер вершины	Показать
Расстояние вывозки	35,74	км
Стоимость вывозки	1689	тыс. руб.
Общие затраты	11141	тыс. руб.
Стоимость тов. продукции	12631	тыс. руб.
Прибыль участка	1489	тыс. руб.
Площадь участка	16,34	км <sup>2</sup>
Породный состав	5П 30с 2Е	
Расстояние до сущ. дороги	8,97	км

Рис. 2. Рассчитанные программой показатели участка леса.

### Выводы

1. Предложена математическая модель проектирования схемы лесовозных дорог, минимизирующая сумму затрат на освоение участков лесного фонда с различными природно-климатическими и технико-экономическими условиями.

2. Разработана методика проектирования схемы сети лесных дорог и определения экономической доступности участков лесного фонда. В зависимости от цели решаемых задач, методика предусматривает определение экономической доступности по аналитическим зависимостям и графикам без проектирования схемы сети дорог, но с учетом основных ренгообразующих факторов.

3. Экспериментальные испытания методики на разнообразных по технико-экономическим и природно-климатическим условиям объектах Нижнего Приангарья показали ее универсальность и работоспособность.

4. Разработанная методика проектирования схемы сети лесных дорог и определения экономической доступности участков лесного фонда учитывает возрастную динамику лесного фонда, позволяет оперативно планировать и прогнозировать его разработку на краткосрочную и долгосрочную перспективу.

5. Разработана система, основанная на нескольких компьютерных программах и ГИС-

технологиях, оптимизирующая процесс освоения лесного фонда. Программы оптимизируют лесозаготовительные, транспортные и лесохозяйственные процессы. В результате руководитель лесозаготовительной компании получает комплекс правильных управленческих решений с экономическими обоснованиями для освоения лесного фонда на ближайшие 5-10 лет. Решения предлагаются в географической информационной системе. Руководитель компании может оперативно контролировать выполнение комплекса работ и мероприятий по оптимальному освоению лесного фонда. При этом автоматически формируются показатели затрат на работы и прибыли от освоения участков лесного фонда.

### Литература

1. Абдряшитов Р.И., Аксенов П.И. Выбор трассы лесовозной дороги с помощью ЭВМ // Лесн. пром-сть. 1982. № 11. 23 с.

2. Салминен, Э.О. Об одном алгоритме размещения технологических путей в лесосырьевой базе. Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса [Текст]/ Э.О. Салминен и др. // Межвуз. сб. научн. тр. /ЛТА.Л., 1990 - С.33-35.

3. Борисов Г.А. Методы автоматизированного проектирования лесотранспорта. Петрозаводск, 1978. 198 с.

4. Ковалев Р.Н., Гуров С.В. Планирование транспортных систем лесных предприятий в условиях многоцелевого лесопользования. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1997. 250 с.

5. Болотов О.В., Мохирев А.П. Автоматизированное проектирование и оптимизация транспортной схемы освоения лесосырьевой базы // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: междунар. сб. науч. тр. Брянск, 2003. С. 62-65.

6. Мохирев А.П., Болотов О.В. Проектирование сети лесных дорог на примере предприятий Красноярского края: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2010. 178 с