

УДК 630.6:504.062

**О.В. Болотов**

Сибирский государственный технологический университет

Болотов Олег Вадимович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры использования водных ресурсов Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ по методам расчета и планирования непрерывного и неистощительного пользования лесом, эколого-экономической оценке и доступности лесных ресурсов, оптимизации размещения лесозаготовительного и лесохозяйственного производства.  
E-mail: bolotstar@ya.ru



## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Разработаны математический аппарат для определения динамики лесного фонда, размера расчетной лесосеки, проектирования рациональной схемы сети лесных дорог и соответствующее программное обеспечение. Результаты исследований апробированы на целом ряде лесных участков Нижнего Приангарья, переданных в аренду для заготовки древесины.

*Ключевые слова:* лесное планирование, информационное обеспечение, математическое моделирование и программирование, лесные дороги, расчетная лесосека.

В соответствии с действующим в Российской Федерации Лесным кодексом в качестве основного инструмента государственного управления лесами установлена новая система лесного планирования. В связи со значительной длительностью цикла «рубка леса – восстановление» становится очевидной необходимость установленный период планирования дополнить разработкой долгосрочных прогнозных сценариев развития на срок аренды лесных участков для заготовки древесины и оборот рубки. Целесообразность такого продолжительного подхода к лесному прогнозированию и планированию отмечалась многими учеными, неоднократно обосновывалась и в наших работах [2, 3, 6 и др.].

Проект освоения лесов (лесных участков, переданных в аренду для заготовки древесины) должен содержать сведения об участке, организации использования лесов, лесной инфраструктуре, которая обеспечит эффективное выполнение как лесозаготовок, так и комплекса мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов на весь период планирования. При этом должны разрабатываться соответствующие карты-схемы, в том числе размещения существующих и проектируемых объектов лесной инфраструктуры. Прогнозные показатели о состоянии лесного фонда требуется привести к окончанию срока действия проекта по кварталам и преобладающим породам. Более того, в приказе Минсельхоза РФ от 08.02.2010 г. № 32 «Об утверждении проекта освоения лесов и порядка его разработки» предусматривается планирование освоения лесных участков и проведение лесохозяйственных мероприятий не на весь десятилетний период, а по годам.

Для качественного составления проектов совершенно необходимо иметь систему специального, адаптированного к современным технологиям информационного обеспечения, которое должно сопровождать разработку не только хорошо известных и использовавшихся ранее при выполнении лесоустроительных проектов вопросов, но и новых, достаточно сложных задач. Среди них отметим наиболее сложные и

имеющие, на наш взгляд, до настоящего времени недостаточную проработку и апробацию: 1) проектирование и оптимизация сети лесных (лесовозных и лесохозяйственных) дорог с учетом динамики лесного фонда и основных природных и технико-экономических факторов; 2) определение экономической эффективности освоения лесных ресурсов; 3) корректировка расчетной лесосеки с учетом экономической доступности лесных ресурсов, несвоевременного и/или некачественного лесовосстановления, возможных потерь лесных ресурсов от негативных природных или антропогенных воздействий (пожары, вредители, болезни леса и др.).

В Сибирском государственном технологическом университете разработаны алгоритмы, математические и графо-аналитические модели и соответствующее программное обеспечение (три программы для ЭВМ, зарегистрированные в государственном реестре: «Проектирование рациональной схемы сети лесовозных дорог» (№ 2008614147 и 2009610561); «Расчет оптимальной величины расчетной лесосеки по прогнозируемым запасам древесины» (№ 2009613237). На их основе разработаны методики (информационное обеспечение), позволяющие отдельно или в комплексе, оперативно и на многовариантной основе решать указанные выше задачи [1–6 и др.].

Первая и вторая задачи решены на основе теории графов с использованием алгоритма Дейкстры. Блок-схема алгоритма для проектирования рациональной схемы сети лесных дорог и одновременного определения экономической эффективности освоения лесного участка представлена на рис. 1, где обозначено:

- 1) ввод матрицы стоимостей строительства и ремонта дорог;
- 2) ввод данных, характеризующих вершины графа – укрупненные выделы (координаты центров выделов, группа класса возраста, преобладающая порода);
- 3) ввод данных о существующих дорогах, рельефе и других особенностях местности (реки, болота и т. п.);
- 4) формирование первоначальной матрицы весов ребер;
- 5) создание списка неосвоенных выделов для данного этапа;
- 6) построение схемы сети лесовозных дорог;
- 7) нахождение дополнительных вершин на всех ребрах графа и поиск кратчайших путей до центров всех неосвоенных ранее выделов с одновременным определением рентабельности их освоения;
- 8) добавление в транспортную сеть выделов с минимальными транспортными затратами и неотрицательной рентабельностью (вершина исключается из списка неосвоенных выделов), если таких вершин нет, то переход к пункту 11;
- 9) фиксирование пути до выдела как построенного, корректировка матрицы весов ребер;

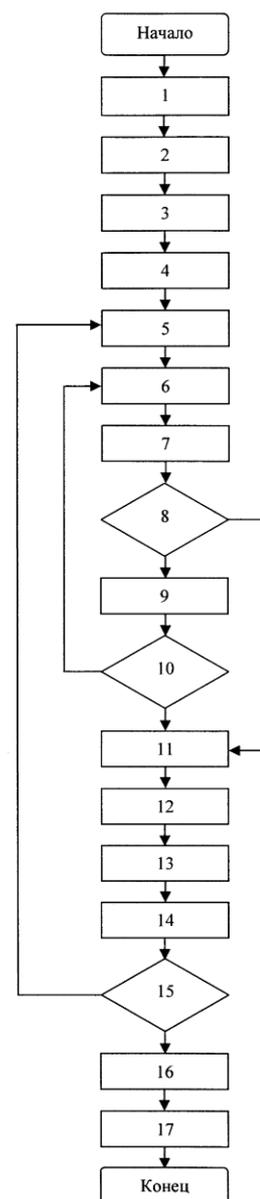


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

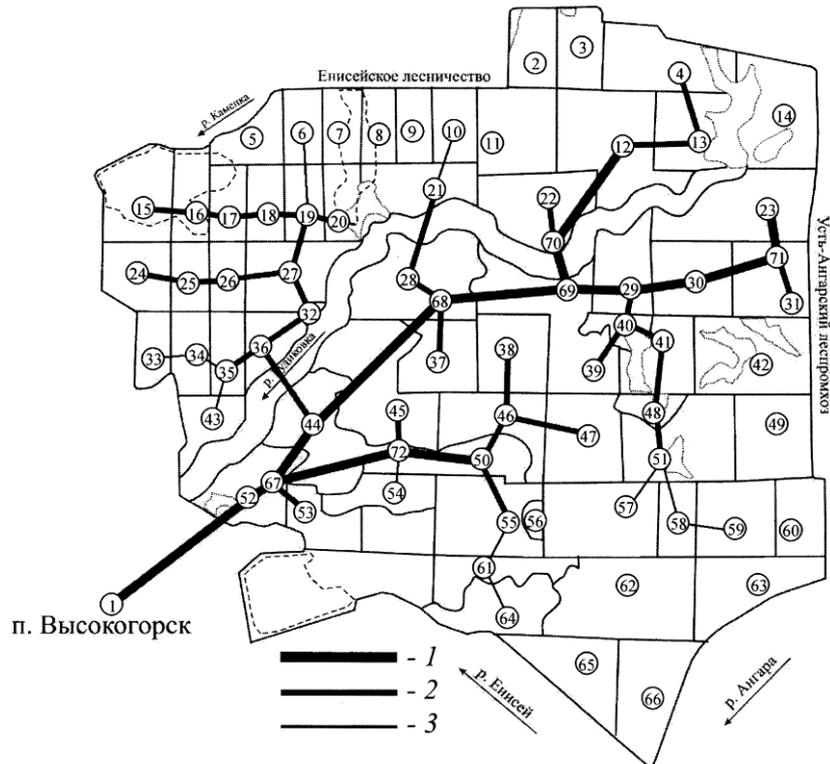


Рис. 2. Схема сети лесных дорог

- 10) переход к пункту 6 при наличии неосвоенных выделов;
- 11) определение грузопотока для всех дорог сети;
- 12) выбор типа дороги, построенной на текущем этапе;
- 13) определение показателей экономической эффективности (прибыль, рентабельность) освоения укрупненных выделов для текущего этапа;
- 14) перенос всех нерентабельных выделов текущего этапа в список неосвоенных следующего этапа;
- 15) переход к рассмотрению очередного временного этапа;
- 16) построение сети лесохозяйственных дорог;
- 17) сохранение всех полученных данных.

Подготовка данных и реализация алгоритма с помощью указанных выше программ (№ 2008614147 и 2009610561) занимают незначительное время, что позволяет оперативно рассмотреть и проанализировать несколько альтернативных вариантов и выбрать наиболее эффективный. В качестве примера на рис. 2 приведена схема сети лесных дорог, спроектированная по нашей методике для арендного участка Высокогорского филиала Лесосибирского ЛДК-1, расположенного в Рудиковском участковом лесничестве Енисейского лесничества Красноярского края. На рисунке изображены существующие и спроектированные лесовозные, а также лесохозяйственные дороги. Спроектированные лесовозные дороги проложены до кварталов, в которых расположены экономически доступные ресурсы древесины. Сеть проектируется для всего арендного участка и на весь период эксплуатации, а реализовываться будет дискретно, с расчетом на 1, 5, 10 и т. д. лет в соответствии с регламентируемыми требованиями заказчика. Лесохозяйственные дороги проектируются для лесных участков, где запланированы мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов. При этом на любом этапе проектирования или использования лесов можно опера-

тивно произвести корректировку схемы и пересчет экономических показателей в зависимости от изменившихся условий лесопользования.

Третья задача решается на основе моделирования динамики лесного фонда [3]. На его базе разработана модель для определения расчетной лесосеки [2, 6]:

$$\sum_{p=1}^P X_{m+1;p} - \sum_{p=1}^P X_{m;p} \geq 0, \quad (m = \overline{1, d}; p = \overline{1, P}); \quad (1)$$

$$X_{m+1;p} - X_{m;p} \geq 0, \quad (m = \overline{1, d}; p = \overline{1, P}); \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m X_{k;p} \leq \sum_{k=1}^m \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S'_{g-k+1;p} + \alpha \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S'_{g-m;p};$$

$$(m = \overline{1, d-1}, d < g; p = \overline{1, P}); \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{i;p} - \alpha_p \beta_p X_{d-g+1;p} - \beta_p \sum_{j=1}^{m-g} X_{j;p} \leq \sum_{i=1}^g \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S'_{i;p};$$

$$(m = \overline{g, d}; d \geq g; p = \overline{1, P}); \quad (4)$$

$$(1 - \alpha) \beta_p X_{p;d-g} \geq S_p^{\min}; \quad (5)$$

$$F = \sum_{p=1}^p \sum_{k=1}^d X_{p;k} C_p \rightarrow \text{MAX}, \quad (6)$$

где  $p$  – номер хозяйственной секции;

$P$  – их число;

$m$  – номер расчетного десяти- или двадцатилетия (далее для краткости – десятилетия);

$d$  – число расчетных десятилетий;

$\eta, \mu$  – коэффициенты риска, учитывающие вероятность потерь ресурсов древесины, связанных с пожарами, лесными вредителями и другими негативными факторами;

$S'_g$  – площадь лесосеки  $g$ -й возрастной градации в первом десятилетии (двадцатилетии);

$X_{i;p}$  – расчетная лесосека  $i$ -го десятилетия  $p$ -й хозяйственной секции;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий переход приспевающих лесов в категорию спелых;

$\beta$  – коэффициент, характеризующий процесс лесовосстановления;

$S_{i;p}$  – площадь лесосеки  $i$ -й возрастной градации  $p$ -й хозсекции;

$S_p^{\min}$  – минимально допустимая с экологической точки зрения площадь спелых лесов  $p$ -й хозяйственной секции;

$C_p$  – товарная продукция, которая может быть получена с 1 га  $p$ -й хозяйственной секции;

$S_g$  – площадь спелых и перестойных лесов;

$g$  – число возрастных градаций древостоя;

$k$  – расчетное десятилетие (двадцатилетие).

Ограничение (1) характеризует требование общей неубываемости (равномерности) лесопользования. Ограничение (2) может применяться к лесосекам с хозяйственно-ценным древостоем, неубываемость которых обусловлена экономическими или экологическими требованиями. Ограничениями (3) и (4) учитываются:

возможные потери ресурсов древесины от негативных природных или антропогенных воздействий (пожары, вредители, болезни леса и др.) и несвоевременного и/или некачественного лесовосстановления соответственно. Для сохранения биологического разнообразия можно исключить возможность истощения определенных пород древостоя системой ограничений (5). В полученной модели в качестве целевой функции (6) принято требование максимизации товарной продукции. Следует отметить, что данная математическая модель дает широкие возможности для уточнения и конкретизации задачи путем введения дополнительных ограничений. На основе этой модели разработано соответствующее программное обеспечение (№ 2009613237).

Таким образом, представленный инструментарий позволяет комплексно и достаточно оперативно проектировать варианты схем сети лесных дорог и находить оптимальный, планировать размещение и очередность освоения участков леса на заданные периоды времени, определять экономическую доступность и эффективность освоения каждой лесосеки. При необходимости можно установить экономически доступную расчетную лесосеку с учетом прогнозируемого результата лесовосстановления, возможных потерь лесных ресурсов от воздействия различных негативных природных и антропогенных факторов.

К сожалению, по причине ограничения объема публикации не предоставляется возможности привести здесь все алгоритмы, модели, полученные с их помощью графики и аналитические зависимости и программы для ЭВМ, а также примеры практической реализации. Они опубликованы нами ранее в работах, указанных в списке литературы и ряде других.

Следует отметить, что лесные экосистемы являются исключительно сложными природными объектами. С учетом кризисной ситуации в лесном комплексе и продолжающегося процесса реформирования законодательной и нормативной базы задача разработки надежных информационных средств для лесного планирования и поддержки принятия решений по устойчивому управлению лесами неизбежно попадает в условия значительной неопределенности и риска. Кроме того, ряд вопросов, таких как экологическая доступность лесных ресурсов, определение коэффициентов риска и некоторых других параметров, требуют дальнейшего изучения и уточнения. Это предусматривается в планах нашей дальнейшей работы и позволит повысить точность и достоверность результатов.

Предлагаемые нами разработки апробированы на ряде лесных участков Нижнего Приангарья, переданных в аренду для заготовки древесины, в бывших (до 2007 г.) лесничествах и лесхозах в целом, а также и их групп (например расположенных в Кежемском, Богучанском и части Мотыгинского районов Красноярского края, в которых сосредоточено более 100 арендных лесных участков). Результаты исследований неоднократно обсуждались на конференциях, семинарах, при рецензировании наших статей и монографий, выполнении научно-исследовательских хозяйственных тем и получили положительные рекомендации и отзывы. Апробация предлагаемого информационного обеспечения показала его работоспособность и эффективность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотов О.В. Оценка эколого-экономического потенциала и доступности лесных ресурсов // Вестн. КрасГАУ. Производство товаров и услуг. Красноярск: КрасГАУ, 2006. № 8. С. 79–82.

2. Болотов О.В., Ельдешитейн Ю.М., Болотова А.С. Моделирование и оптимизация размеров главного пользования лесом: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2004. 80 с.

3. Болотов О.В., Ельдешитейн Ю.М., Колесник А.А. Математическое моделирование динамики лесного фонда и оптимизация лесопользования // Лесн. журн. 1999. № 6. С. 27–31. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Болотов О.В., Ельдешитейн Ю.М., Привалихин А.И. Оптимизация лесопользования Нижнего Приангарья // Тр. первой науч.-практ. конф. по реализации Федеральной целевой программы освоения Нижнего Приангарья. Красноярск, 1997. С. 178–180.

5. Болотов О.В., Мохирев А.П. Экономическая доступность лесных древесных ресурсов // Вестн. КГУ. Естественные науки. Красноярск: КГУ, 2006. № 5/1. С. 5–9.

6. Основы расчета и планирования устойчивого управления лесопользованием: монография / О.В. Болотов [и др.]. Красноярск: СибГТУ, 2005. 183 с.

*O.V. Bolotov*

Siberian State Technological University

### **Informational Support for Planning Rational Forest Management**

Mathematical tools for determining forest resources dynamics, allowable cutting area and designing rational scheme of forest roads network are developed, as well as related software. The study results are tested on forest sites of Lower Pre-Angara area leased for logging.

Keywords: forest planning, informational support, mathematical simulation and programming, forest roads, allowable cutting area.

