

ГРУППИРОВКА ВЫДЕЛОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРА ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОМ НА ОСНОВЕ ПОВЫДЕЛЬНОГО БАНКА ДАННЫХ

In given clause the opportunity of use of a grouping of forest subcompartments for reduction of number of objects used in accounts by optimization of the principal harvesting is analyzed. Two variants of a grouping are considered: on species, age, classes quality of wood, bonitet classes and on species, age, classes quality of wood, forest site types. The first variant of a grouping allows to reduce quantity of objects, participating in accounts, more than in fifteen, and second more than ten times. At use of the considered groupings, the accuracy of calculations remain at a former level, as a parameter of accuracy for group average heights, diameters and volume of stande, which are necessary for calculation of meanings of criterion function corresponds to the requirements of the forest inventory instruction.

Введение. Лесной комплекс – важная отрасль экономики страны. Промышленность Республики Беларусь, перерабатывающая древесное сырье, специализируется в основном на производстве мебели и строительных деталей. В связи с этим она нуждается в высококачественной древесине как одном из важнейших условий конкурентоспособности отрасли в условиях рыночной экономики. Обеспечение нужд республики древесиной в достаточном количестве – это важнейшая задача лесного хозяйства. В решении этой задачи существенную роль играет увеличение размера лесопользования и крупности заготавливаемой древесины, что тесно связано с оптимизацией главного пользования лесом [1, 2].

Основная часть. В целом задача оптимизации главного лесопользования в современном лесоустройстве решается в двух направлениях: 1) оптимизация размера главного пользования лесом; 2) оптимизация планирования лесопользования на ревизионный период.

Расчетная лесосека определяет размер главного пользования с учетом таких факторов, как наличие спелого леса, возрастная структура лесов, непрерывность лесопользования, потребности народного хозяйства в древесине. Однако значение расчетной лесосеки не дает информации о размерах и расположении главного пользования в пространстве и о распределении вырубаемых древостоев по годам ревизионного периода.

С целью преодоления указанного недостатка разработано направление оптимизации планирования главного пользования лесом. Отличительным признаком данного направления является то, что оптимальный размер пользования устанавливается отдельно для каждого выдела эксплуатационного фонда. При этом учитывается относительное постоянство лесопользования по времени планирования хозяйства и ряд факторов экономического характера (стоимость растущего древесного запаса и прироста). Наибольшее развитие данное направление получило в Скандинавских странах и США.

При использовании линейного программирования для оптимизации порядка поступления выделов в рубку может использоваться следующая целевая функция:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{i,j} X_{i,j} \rightarrow \max \quad (1)$$

с ограничениями

$$\sum_{j=1}^n X_{i,j} \leq A_i,$$

$$\sum_{i=1}^m M_{i,j+1} X_{i,j+1} = \left(\frac{100+P_{j+1}}{100} \right) \sum_{i=1}^m M_{i,j} X_{i,j}, \quad (2)$$

где $M_{i,j}$ – запас древесины, вырубаемый в i -том квартале в j -том году, $\text{м}^3/\text{га}$; $X_{i,j}$ – площадь, которая будет вырублена в j -том году в i -том квартале, га; A_i – общая площадь i -того квартала; P_{j+1} – процент ежегодного изменения величины лесосеки [3, 4].

Таким образом, целевая функция (1) позволяет максимизировать запас вырубаемой древесины в течение ряда лет n в установленном количестве кварталов m . При этом ограничение (2) позволяет выбирать различные варианты пользования: равномерное ($P_{j+1} = 0$), убывающее ($P_{j+1} < 0$) или возрастающее ($P_{j+1} > 0$).

Модель оптимизации планирования главного пользования лесом сформулированная Тсе-Нао-Тченг в виде (3)–(6) и решаемая методом декомпозиции Данцига – Вулфа, ориентируется не на максимизацию запаса вырубаемой древесины, а на увеличение дохода:

$$\sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \quad (3)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^m r_i x_{ij} \leq b_j^{\max}; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m r_i x_{ij} \leq b_j^{\min}; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad (6)$$

где r_i – площадь i -того выдела; b_j^{\min} и b_j^{\max} – минимальная и максимальная площадь, на которой могут быть осуществлены рубки в j -том году; c_{ij} – доход, который может быть получен с i -того выдела, если рубки на нем будут осуществляться в j -том году; x_{ij} – площадь i -того выдела (в долях единицы), подвергнутая рубке в j -том году [5, 6].

Наибольшее распространение среди методов исследования операций, применяемых для решения проблем оптимизации лесопользования, получили модели линейного программирования. Применение методов линейного программирования дает возможность одновременно оценивать несколько переменных в одной математической модели. В модели линейного программирования в целевой функции при оптимизации берется одна переменная (объем или площадь лесопользования), а другие переменные представляют ее ограничения в целевой функции. В пользу использования метода линейного программирования говорит и наличие детально разработанных вычислительных процедур и относительная простота их реализации на ЭВМ [7].

Для условий Республики Беларусь ввиду иного подхода к регулированию лесопользования и технико-экономических предпосылок, определяющих последовательность и интенсивность рубки, данные системы не могут быть приняты в их оригинальном виде. Регулирование объемов рубок производится на основе распределения древостоев по группам возраста. Современным лесоустройством созданы все предпосылки для внедрения новых методов планирования лесопользования: переход на новую технологию непрерывного лесоустройства; создание повыделного банка данных «Лесной фонд» и геоинформационной системы «Лесные ресурсы»; разработка лесотаксационных нормативов в виде моделей строения и роста древостоев, их сортиментной структуры [8].

Впервые для условий Республики Беларусь модель оптимизации планирования главного лесопользования была предложена профессором О. А. Атрощенко [8, 9] и реализована в программном обеспечении А. А. Бум [10–12]. В данном случае при формулировке задачи линейного программирования используется следующая целевая функция:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n V_{i,j} X_{i,j} \rightarrow \max \quad (7)$$

с ограничениями

$$\sum_{j=1}^n X_{i,j} \leq S_i, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m V_{i,j+1} X_{i,j+1} = \left(\frac{100 + P_{j+1}}{100} \right) \sum_{i=1}^m V_{i,j} X_{i,j}, \quad (9)$$

где $V_{i,j}$ – запас древесины, в i -том выделе в j -том году, м³/га; $X_{i,j}$ – площадь i -того выдела, который будет вырублен в год j , га; S_i – площадь i -того выдела, га; P_{j+1} – процент ежегодного изменения величины лесосеки.

Таким образом, целевая функция (7) позволяет максимизировать запас вырубленной древесины в течение ряда лет n с установленного количества выделов m . При этом ограничение (9) позволяет выбирать различные варианты пользования: равномерное ($P_{j+1} = 0$), убывающее ($P_{j+1} < 0$) или возрастающее ($P_{j+1} > 0$).

Дальнейшее развитие исследований в данной области были направлены на экологизацию ведения лесного хозяйства, что предполагает проектирование главного пользования с учетом сохранения биологического разнообразия лесов. Оптимизация главного пользования при этом основывалась на применении географических информационных систем [13, 14].

Таким образом, в результате проведенного анализа можно заключить, что оптимизация размера главного пользования часто проводится на уровне отдельных выделов с использованием линейного программирования. Однако в данном случае при увеличении количества выделов, вовлеченных в расчет, резко увеличивается размерность задачи, что создает определенные трудности. Так, например, для решения задачи линейного программирования с целевой функцией (7) и ограничениями (8)–(9) при оптимизации главного пользования для 14 спелых выделов время выполнения расчетов составило 6 с, а для 94 выделов – уже 26 мин 35 с [12]. Таким образом, при увеличении числа выделов, вовлеченных в расчет, среднее время вычислений, приходящееся на 1 выдел, возросло с 0,4 с до 17,0 с, то есть в 42 раза. А при оптимизации главного пользования в целом лесхозе число выделов, на основе которых будет выполняться оптимизация размера главного пользования лесом, может достигать сотен и тысяч штук. Что уже говорить о задаче оптимизации главного пользования по лесохозяйственному объединению или в целом по Республике? Таким образом, оптимизация размера главного пользования на основе повыделной базы данных для больших объектов потребует решения задачи линейного программирования очень большой размерности. Вместе с тем, в лесном фонде наверняка будут древостой с очень близ-

кими таксационными характеристиками, которые при выполнении расчетов можно будет объединить вместе. Таким образом, целью данной работы является сокращение числа объектов, участвующих в оптимизации, путем группировки выделов, имеющих близкие таксационные характеристики произрастающих в них насаждений.

Объекты и методика исследования. Для анализа возможности группировки выделов, имеющих близкие характеристики древостоев, использовались повыведельные базы данных по 14 лесхозам Беларуси, которые равномерно представляют все 7 лесорастительных районов:

Западно-Двинский – Полоцкий, Витебский;

Оршано-Минский – Сморгонский, Борисовский;

Оршано-Могилевский – Оршанский, Могилевский;

Неманско-Предполесский – Лидский, Барановичский;

Березинско-Предполесский – Осиповичский, Бобруйский;

Бугско-Полесский – Кобринский, Лунинецкий;

Полесско-Приднепровский – Петриковский, Речицкий.

Группировка выделов из повыведельной базы данных перечисленных выше лесхозов выполнялась двумя способами:

1) выделы группировались по породам, возрасту, классам товарности и классам бонитета;

2) выделы группировались по породам, возрасту, классам товарности и типам леса.

Такие варианты группировки были выбраны исходя из следующих соображений. Для выполнения оптимизации главного пользования лесом необходимо иметь возможность вычислять целевую функцию. Для вычисления целевой функции надо иметь данные о доходе, который можно получить от выдела в разные моменты расчетного периода (3) или о запасе древесины (1), (7). Чтобы иметь такие данные, следует воспользоваться какими-либо моделями, описывающими рост древостоев. Это могут быть, например, табличные модели (таблицы хода роста) или математические. Как правило, модели, описывающие рост древостоев, строятся или по типам леса, или по бонитетам для каждой древесной породы отдельно. Этим обусловлена необходимость группировки выделов по породе, возрасту и классу бонитета или по породе, возрасту и типу леса. Если бы речь шла об использовании при оптимизации в целевой функции запасов древостоев (1), (7), то группировки по породе и классу бонитета или по породе и типу леса было бы достаточно. Однако в некоторых случаях необходимо иметь данные о выходе древесины различных категорий крупности в разные моменты времени расчетного периода, как, например, при определении дохода,

который может быть получен с выдела (3). Этим обусловлена необходимость добавления группировки по классам товарности, так как от этого показателя зависит выход древесины по категориям крупности.

Для выполнения группировки выделов, хранящихся в повыведельной базе данных в формате СУБД ACCESS, были разработаны необходимые запросы на языке SQL, с помощью которых приспевающие, спелые и перестойные древостои распределялись по группам. Для каждой группы определялось количество выделов в группе, а также средние значения, среднеквадратические отклонения, коэффициент вариации, стандартная ошибка и показатель точности для высоты, диаметра и запаса.

Результаты и обсуждение. Результаты проведенной группировки выделов представлены в табл. 1 (группировка по породам, классам товарности и классам бонитета) и в табл. 2 (группировка по породам, классам товарности и типам леса). Как видим, число приспевающих, спелых и перестойных древостоев, которые необходимо включать в расчет при оптимизации главного пользования лесом методом линейного программирования по лесхозам, достаточно велико. Меньше всего таких выделов в Кобринском лесхозе (2954 шт.). Однако даже такое количество выделов может доставить достаточно много проблем при поиске оптимального решения при оптимизации главного пользования лесом с помощью методов линейного программирования, не говоря уже о лесхозах, в которых количество приспевающих спелых и перестойных древостоев более десяти тысяч, например Петриковский (10 334 шт.) или Борисовский (10 606 шт.).

После группировки выделов по породам, возрасту, классам товарности и классам бонитета картина меняется кардинальным образом. Максимальное число групп сформировано в Осиповичском лесхозе (586), что составляет менее шести процентов от начального количества приспевающих, спелых и перестойных древостоев, имеющихся в данном лесхозе. В целом в анализируемых лесхозах количество сформированных групп составляет от 3,8 до 9,8% от первоначального количества выделов. В среднем по лесхозам, включенным в исследование, число приспевающих, спелых и перестойных древостоев, составляющее 6513 шт., после группировки снижается до 415 групп, что составляет 6,4% от первоначального количества выделов. Таким образом, группировка по породам, возрасту, классам товарности и классам бонитета более чем в 15 раз снижает количество объектов, включаемых в расчет при оптимизации главного пользования лесом с использованием линейного программирования.

Таблица 1
Результаты группировки по породам, возрастам, классам товарности и бонитетам

| Лесхоз | Число выделов | Число групп | % от числа выделов |
|----------------------|---------------|-------------|--------------------|
| Барановичский | 3 524 | 265 | 7,5 |
| Бобруйский | 5 829 | 459 | 7,9 |
| Борисовский | 10 606 | 506 | 4,8 |
| Витебский | 4 016 | 301 | 7,5 |
| Кобринский | 2 954 | 219 | 7,4 |
| Лидский | 5 701 | 427 | 7,5 |
| Лунинецкий | 8 823 | 394 | 4,5 |
| Могилевский | 3 506 | 343 | 9,8 |
| Оршанский | 6 648 | 525 | 7,9 |
| Осиповичский | 9 929 | 586 | 5,9 |
| Петриковский | 10 334 | 388 | 3,8 |
| Полоцкий | 7 786 | 509 | 6,5 |
| Речицкий | 6 962 | 570 | 8,2 |
| Сморгонский | 4 570 | 324 | 7,1 |
| В среднем по лесхозу | 6 513 | 415 | 6,4 |

Таблица 2
Результаты группировки по породам, возрастам, классам товарности и типам леса

| Лесхоз | Число выделов | Число групп | % от числа выделов |
|----------------------|---------------|-------------|--------------------|
| Барановичский | 3 524 | 399 | 11,3 |
| Бобруйский | 5 829 | 636 | 10,9 |
| Борисовский | 10 606 | 752 | 7,1 |
| Витебский | 4 016 | 446 | 11,1 |
| Кобринский | 2 954 | 357 | 12,1 |
| Лидский | 5 701 | 643 | 11,3 |
| Лунинецкий | 8 823 | 703 | 8,0 |
| Могилевский | 3 506 | 380 | 10,8 |
| Оршанский | 6 648 | 749 | 11,3 |
| Осиповичский | 9 929 | 811 | 8,2 |
| Петриковский | 10 334 | 607 | 5,9 |
| Полоцкий | 7 786 | 737 | 9,5 |
| Речицкий | 6 962 | 822 | 11,8 |
| Сморгонский | 4 570 | 511 | 11,2 |
| В среднем по лесхозу | 6 513 | 611 | 9,4 |

При группировке насаждений по породам, классам товарности и типам леса количество формирующихся групп несколько больше, чем в предыдущем варианте группировки, однако все равно достаточно мало. Самое большое число групп сформировано по Речицкому лесхозу (822), а самое малое – по Кобринскому (357). В среднем при такой группировке число объектов, которое должно принимать участие в расчетах при оптимизации главного пользования лесом, уменьшается с 6513 выделов до 611 групп. Таким образом, после группировки

остается только 9,4% от исходного числа объектов. В данном случае результаты группировки более скромные в сравнении с первым вариантом, однако и при такой группировке удалось уменьшить количество объектов более чем в 10 раз.

Анализ статистических показателей, полученных при обработке высот, диаметров и запасов выделов по образованным группам показывает, что в 5757 группах показатель точности определения среднего арифметического значения высоты в группе не превышает 7%. При общем количестве групп, сформированных по всем 14 лесхозам при группировке по породам, возрасту, классам товарности и классам бонитета, – 5816, лесоустойчивый норматив точности при глазомерной таксации насаждений, назначенных в предстоящем ревизионном периоде в рубки главного пользования, установленный для высоты древостоя (7%), превышен только в 1,0% случаев от общего количества групп. Лесоустойчивая инструкция допускает такие отклонения в 32% случаев при производственной таксации. Двойное превышение допустимых погрешностей допускается в 5% случаев. При рассматриваемом варианте группировки показатель точности превышает отметку в 14% только в 10 случаях из 5816, что составляет 0,2%. Аналогичная картина наблюдается и для диаметров. При нормативе точности определения диаметра древостоя, установленным лесоустойчивой инструкцией в 10%, при группировке по породам, возрасту, классам товарности и классам бонитета показатель точности превысил указанный норматив в 193 случаях, что составляет 3,3%. Двойное превышение указанного порога наблюдалось в 23 группах (0,4%). Показатель точности определения среднего запаса на гектаре по группам превысил норматив точности, установленный лесоустойчивым (10%) в 9,7% случаев (565 групп из 5816). Двойное превышение допустимой погрешности имело место в 111 группах из 5816 (1,9%). Таким образом, статистические показатели, вычисленные для средних значений высот, диаметров и запасов групп, образованных для всех 14 анализируемых лесхозов, свидетельствуют о том, что полученные результаты вполне укладываются в лесоустойчивые нормативы точности, установленные для данных показателей, что делает предлагаемую группировку правомочной. Наиболее точные результаты получены по высотам, а наименее – по запасам. Такая ситуация, по видимому, объясняется варьированием полнот в группах.

При группировке выделов по породам, возрасту, классам товарности и типам леса получена в общем-то аналогичная картина. Показатель точности, вычисленный для средних высот в группах, превысил лесоустойчивый

норматив точности в 229 группах из 8553 (2,7%). Двойное превышение наблюдалось в 0,3% случаев (25 групп из 8553). По диаметрам показатель точности оказался более 10% в 324 группах, что составляет 3,8% от общего количества групп (8553). Двойное превышение допустимой погрешности наблюдалось только в 35 группах из 8553 (0,4%). По запасу показатель точности оказался больше допустимой погрешности, установленной лесоустроительной инструкцией в 995 группах (11,6% от общего количества групп (8553)). Двойное превышение имело место в 2,3% случаев (195 групп из 8553). Полученные результаты говорят о том, что в случае группировки по породам, возрасту, классам товарности и типам леса точность определения средних по группам высот, диаметров и запасов также соответствует требованиям лесоустроительной инструкции. Однако в данном виде группировки достигнута более низкая точность, чем при группировке по породам, возрасту, классам товарности и классам бонитета. Также, как и в предыдущем виде группировки, наименее точные результаты определения групповых средних характерны для запасов, а наиболее точные – для высот.

Заключение. Группировка выделов по породам, возрастам, классам товарности и классам бонитета позволит более чем в 15 раз уменьшить количество объектов, участвующих в расчетах при оптимизации главного пользования лесом от первоначального количества, а группировка по породам, возрастам, классам бонитета и типам леса – более чем в 10. При этом точность вычислений останется на прежнем уровне, так как показатель точности для групповых средних высот, диаметров и запасов, которые нужны для вычисления значений целевой функции, соответствует требованиям лесоустроительной инструкции для обоих рассмотренных вариантов группировки.

Литература

1. Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загреев. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 200 с.
2. Анучин, Н. П. Проблемы лесопользования / Н. П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 264 с.

3. Littschwager, J. S. Solution of a large-scale forest scheduling problem by linear programming decomposition / J. Littschwager, T. Tcheng // Journal of forestry. – 1969. – Vol. 69. – № 9.

4. Louck, D. The development of an optimal program for sustained-yield management / D. Louck // Journal of Forestry. – 1964. – Vol. 62. – № 7.

5. Лэсдон, Л. С. Оптимизация больших систем / Л. С. Лэсдон. – М.: Наука, 1975. – 431 с.

6. Tse-Hao Tcheng Scheduling of a Large Forestry – Cutting Problem by linear programming decomposition / Tse-Hao Tcheng // Ph. D. Thesis, University of Iowa. – 1996. – 17 p.

7. Таха, Х. Введение в исследование операций / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – 479 с.

8. Атрощенко, О. А. Проблема оптимизации лесопользования в Белоруссии / О. А. Атрощенко // Проблемы лесопользования в западном регионе СССР: материалы Межресп. науч. конф. – Гомель: БелНИИЛХ, 1990. – С. 58–68.

9. Атрощенко, О. А. Научно-технические достижения в лесном хозяйстве за рубежом и их использование в Белоруссии / О. А. Атрощенко. – Минск: БелНИИТИ, 1989. – 44 с.

10. Буй, А. А. Оптимизация лесопользования на основе модели линейного программирования / А. А. Буй // Тезисы докладов «Лес-95». – Минск, 1995. – С. 8.

11. Буй, А. А. Планирование главного лесопользования на основе методов исследования операций с использованием ГИС «Лесные ресурсы» / А. А. Буй // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – Вып. IV. – 1996. – С. 94–96.

12. Буй, А. А. Оптимизация размера главного пользования с использованием повыведельной базы данных на ПЭВМ: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / А. А. Буй. – Минск, 1996. – 268 с.

13. Пушкин, А. А. Оптимизация главного пользования в сосновых лесах при сохранении их биологического разнообразия / А. А. Пушкин // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – Минск, 2004. – Вып. XII. – С. 83–87.

14. Пушкин, А. А. Оптимизация главного пользования в сосновых лесах с использованием ГИС-технологий: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / А. А. Пушкин. – Минск, 2004. – 198 с.