

## ГЛОБАЛЬНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ – ЗАГРОЗИ ЛЮДСТВУ ТА МЕХАНІЗМИ ВІДВЕРНЕННЯ

УДК 630\*5\*252\*611

*Проф. В.Ф. Багинский, д-р с.-х. наук,  
член-корр. НАН Беларуси – Гомельский ГУ  
им. Ф. Скорины; доц. О.В. Лапицкая, канд. экон. наук –  
Гомельский ГТУ им. П.О. Сухого*

### НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Показано, что глобальное изменение климата в лесах Беларуси приведет к сокращению площадей еловых лесов. Предложено заменить их дубом, лиственницей европейской и сосной. Последняя, по исследованиям авторов, в условиях Беларуси не уступает ели по производительности. Для повышения уровня депонирования диоксида углерода предложено устанавливать возраст рубки древостоев с учетом предложенной авторами экологической и эколого-экономической спелости, что позволит повысить вклад лесов в снижение количества парниковых газов.

**Ключевые слова:** климат, ель, дуб, сосна, лиственница европейская, продуктивность древостоя, спелость, возраст рубки.

**Введение.** Проблема глобального изменения климата уже несколько десятилетий беспокоит ученых и практиков. Отражением этого беспокойства стала Рамочная Конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК), Киотский протокол (КП) к ней [30, 12] и другие последующие документы. Названная проблема актуальна и для Беларуси. Отражением этого является то, что наша страна еще 11 июня 1992 г. подписала РКИК и ратифицировала ее 11 мая 2000 г., став полноправной стороной РКИК ООН 9 августа 2000 г. в 2005 г. (26 августа) страна подписала документ о присоединении к Киотскому протоколу РКИК ООН и 24 ноября 2005 г. стала полноправной стороной протокола [24]. В соответствии с названными документами в Беларуси проводятся соответствующие мероприятия по сокращению выброса парниковых газов, связывания диоксида углерода и т.д. [11, 24].

В системе мер, направленных на предотвращение глобального потепления, важную роль играют леса. В Беларуси лесной фонд составляет свыше 9,3 млн га, при этом земли, покрытые лесом, занимают 7,84 млн га. Лесистость страны составляет около 38 % [3, 8]. Средний ежегодный прирост в лесах Беларуси равен примерно 27 млн м<sup>3</sup> [3, 8], а текущий прирост в силу того, что в лесном фонде преобладают молодняки II класса возраста и средневозрастные насаждения, доходит до 37 млн м<sup>3</sup> [3, 8].

Имеющиеся оценки показывают, что на территории Беларуси депонируется СО<sub>2</sub> в два раза больше, чем выделяется промышленностью и транспортом [3, 11, 14]. Это коренным образом отличается от ситуации в США, Германии и ряде других промышленно развитых стран. Леса вносят важнейший вклад в депонирование углерода. Его запасы в лесах нашего государства оценивают в 0,8-0,9 млрд т (0,72 т/м<sup>3</sup>) [3, 4, 14, 29]. Расхождение в оценках связа-

но с тем, что они проводились в разные годы и запасы древесины отличались: 1995 г. – 0,85 млрд м<sup>3</sup>, 2000 г. – 1,3 млрд м<sup>3</sup>, 2008 г. – 1,5 млрд м<sup>3</sup> [3, 4, 8, 11, 14, 29].

Доля лесных культур в составе лесного фонда превышает 25 %, и она будет увеличиваться за счет облесения низкобальных сельскохозяйственных земель. К 2015 г. лесистость Беларуси за счет этого должна составить 39-40 %, т.е. объем депонирования диоксида углерода возрастет. Несмотря на достаточно оптимистическую картину, которая показана выше, в лесном хозяйстве в связи с изменением климата возникает много проблем. В числе важнейших можно назвать оптимизацию видового состава лесов, максимизацию депонирования CO<sub>2</sub>, что связано с повышением возрастов и оборотов рубки, организацией экологизированного лесопользования и другие.

Раскроем проблемы видового состава лесов, который будет трансформироваться в результате глобального изменения климата и проблемы оптимизации возрастов и оборотов рубки леса. Последние в значительной мере зависят от тех спелостей леса, которые учитывают при организации лесопользования [1-3, 9, 23]. В настоящее время в лесном хозяйстве Беларуси решение именно этих проблем наиболее актуально в связи с изменением климата.

**Материалы и методика.** Материалом для наших исследований послужили свыше 1200 пробных площадей в древостоях различных древесных пород, чистого и смешанного состава в возрасте от 5 до 140 лет. Пробные площади закладывались во всех лесорастительных подзонах Беларуси [35] в период с 1975 по 2005 г. при выполнении научно-исследовательской тематики Института леса НАН Беларуси. Используются также открытые ведомственные материалы и литературные источники, на которые по ходу изложения материала делаются ссылки. Экспериментальный материал обрабатывали и анализировали, используя общепринятые лесоводственные, лесотаксационные, лесоустроительные и экономические подходы, а также математико-статистические методы и системный анализ [5, 6, 16].

**Результаты и обсуждение.** Видовой состав лесов Беларуси в настоящее время не является оптимальным. Это выражается в увеличенном количестве мягколиственных древостоев, главным образом, березы, недостатком твердолиственных пород и необходимостью увеличения доли хвойных. Наши исследования [4] оптимальной породной структуры показывают, что за последние 20 лет видовой состав лесного фонда в целом ухудшился и не соответствует оптимальному (табл. 1).

Данные, приведенные в табл. 1, существенно отличаются от тех, которые считали оптимальными авторы, работавшие над этой проблемой более 20 лет назад. Отличия касаются, главным образом, площадей ели, оптимальные площади которой доходят у В.Е. Ермакова, Ф.П. Моисеенко и других до 16,5 % [4]. Связано это с тем, что за последние 15-20 лет в Беларуси произошло массовое усыхание ельников. С 1993 г. до настоящего времени, по данным Минлесхоза, усохло и вырублено более 100 тыс. га еловых древостоев с общим запасом свыше 35 млн м<sup>3</sup>, т.е. доля вырубленных ельников составила более 12 % от всей их площади.

Причины усыхания ельников называют разные [20, 31, 34]. Ельники в Европейской части СССР усыхали и ранее, что описано в литературе, 20, 40 и 70 лет назад [10, 21, 32-34]. Все же основной причиной нынешнего усыхания ельников большинство ученых считает потепление климата [19, 20, 34]. Прогноз здесь неутешителен: в силу глобального потепления будут происходить трансформации видового состава лесов, изменение их типологической структуры [16, 18]. Правда, есть прогнозы и почти противоположного плана [13], но эта точка зрения большинством ученых не поддерживается.

**Табл. 1. Видовой состав лесов Беларуси (земли, покрытые лесом)**

| Древесный вид        | Доля в % по учету |             |             | Оптимальный состав, % |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------|-----------------------|
|                      | 01.01.1995        | 01.01.2001  | 01.01.2006  |                       |
| Сосна                | 57,7              | 50,2        | 50,4        | 63                    |
| Ель                  | 9,5               | 10,0        | 9,4         | 8                     |
| Лиственница          | -                 | -           | -           | 0,7                   |
| <i>Итого хвойных</i> | <i>67,2</i>       | <i>60,2</i> | <i>59,8</i> | <i>71,7</i>           |
| Дуб                  | 4,0               | 3,3         | 3,5         | 6,8                   |
| Ясень                | -                 | 0,4         | 0,4         | 0,8                   |
| Клен                 | -                 | -           | -           | 0,1                   |
| Граб и вяз           | 0,5               | 0,2         | 0,2         | 0,2                   |
| <i>Итого т/листв</i> | <i>4,5</i>        | <i>3,9</i>  | <i>4,1</i>  | <i>7,9</i>            |
| Береза               | 16,2              | 20,8        | 23,4        | 10,1                  |
| Осина и тополь       | 2,5               | 2,1         | 2,1         | 1,8                   |
| Ольха черная         | 8,6               | 8,2         | 8,5         | 8,2                   |
| Ольха серая          | -                 | 2,3         | 2,4         | 0,2                   |
| Липа                 | -                 | 0,1         | -           | 0,1                   |
| Ива древ.            | 1,0               | 0,1         | 0,1         | -                     |
| <i>Итого м/листв</i> | <i>28,3</i>       | <i>33,6</i> | <i>35,5</i> | <i>20,4</i>           |
| Прочие с куст.       | -                 | 2,3         | 0,6         | -                     |
| <i>Всего</i>         | <i>100</i>        | <i>100</i>  | <i>100</i>  | <i>100</i>            |

Таким образом, мы вправе констатировать факт, что вероятность усыхания ельников в Беларуси, особенно в ее южной и средней полосе достаточно велика. Ель будет постепенно "уходить" на север. Поэтому перед лесоводами встает проблема – чем возобновлять еловые лесосеки в случае продолжения массового усыхания ели.

Восстановление вырубленных усохших ельников велось и пока ведется в традиционном направлении, т.е. ельники по возможности восстанавливаются елью. Правда, в процессе лесовосстановления в силу природных процессов на местах вырубок появляются смешанные древостои. Они более устойчивы, но проблему в стратегическом плане в связи с изменением климата это не решает. Поэтому на будущее следует определиться с перечнем древесных пород, которые сменят ельники в местах, где их выращивание не будет иметь перспективы. Это в основном южные и западные области Беларуси (Брестская, Гомельская, Гродненская) и южные районы Минской и Могилевской областей.

Определенная часть еловых вырубок будет закультивирована (и уже культивируется) лиственницей европейской. В Беларуси эта древесная поро-

да имеет наилучшие показатели по энергии роста и продуктивности. Поэтому Минлесхозом принята специальная программа разведения лиственницы с тем, чтобы в ближайшие 10 лет довести ее долю участия в лесном фонде до 1 % – 80-100 тыс. га. В настоящее время лиственница в лесах Беларуси, хотя и имеется в виде отдельных участков, но в силу незначительных площадей в государственном учете лесного фонда даже не отмечена [8]. Обратим внимание, что речь идет только о лиственнице европейской. Лиственница сибирская в лесах Беларуси тоже встречается в посадках, но ее продуктивность не выше абортгенной сосны, и поэтому последней в белорусских лесах должно отдаваться предпочтение. Но слишком большого распространения лиственница в Беларуси пока не получила из-за отсутствия широкой семенной базы и определенных технологических трудностей ее выращивания.

В южных областях Беларуси место ели должен занять дуб. Конечно, ель полностью удалять из леса не следует для обеспечения биологического разнообразия. Но на этом и завершается значение ели в Гомельской, Брестской и южных районах Гродненской, Минской и Могилевской областей. При принятии решения о замене еловых древостоев другими древесными видами следует выдержать следующие условия:

- сохранить высокую продуктивность древостоев;
- обеспечить выход сортиментов, требуемых на рынке;
- сохранить экологические функции насаждений, в т.ч. биологическое разнообразие;
- экономическая эффективность выращивания древостоя на месте ельника не должна уступать последнему.

Вариантов породного состава замены ельников в условиях Беларуси несколько. Это уже упомянутые лиственница и дуб, а также сосна, береза и осина.

Рассматривая дуб как породу, которая придет на смену ели в южных районах Беларуси, отметим, что продуктивность дубрав в целом ниже, чем у хвойных [3, 14]. Если дополнительно учесть, что при одинаковых условиях произрастания сосна растет по более высокому классу бонитета, чем дуб (на 0,5-1,5 класса), то различия будут еще разительнее.

Таким образом, если мы возьмем продуктивность дуба за 100 %, то соотношение продуктивности дуба, сосны и ели будет в среднем выглядеть как 1:1,22:1,26 [3, 14]. Но средние диаметры дубовых древостоев в возрасте спелости выше, чем у сосны, в среднем на 18 %, а против ели – больше на 35 %. Соответственно, товарная структура дубовых древостоев лучше, чем у хвойных: в спелых насаждениях выход крупной деловой древесины в дубравах на 17-18 % больше, чем у сосны и ели, хотя общий выход деловой древесины у дуба примерно на 15 % меньше [3].

В то же время ценность дубовой древесины выше. В целом цены на дубовую древесину (фанерное бревно, пиловочник) на товарно-сырьевой (лесной) бирже в Беларуси в среднем в 3 раза выше, чем на соответствующие сортименты хвойных пород. Индекс стоимости деловой древесины с 1 га (I) для сосновых и еловых древостоев, по сравнению с дубовыми, можно рассчитать по формуле  $I = Ц \times T \times M$ , где Ц – индексы цен на древесину, T – соотношение выхода деловой древесины, M – отношение запасов древостоев.

Расчеты показали, что при усредненном сравнении дуба с сосной при одинаковых условиях произрастания  $T=0,70$ ,  $M=0,84$ ; по отношению к ели  $T=0,70$ ,  $M=0,78$ . Тогда индекс стоимости деловой древесины с одного га у дуба против сосны равен:

$$I_1 = 3 \times 0,7 \times 0,84 = 1,8; \text{ против ели } - 3 \times 0,7 \times 0,78 = 1,69.$$

Таким образом, стоимость 1 га дубового древостоя в возрасте спелости примерно в 1,7-2 раза выше, чем у хвойных. Следовательно, направление на увеличение доли дуба в лесном фонде Беларуси верное. Пока это увеличение планируется провести за счет производных древостоев, но при дальнейшем "уходе" ели на север в южных областях страны дуб вправе занять ее место.

У средней части Беларуси, если окажется невозможным вырастить устойчивые древостои ели, ее место должна занять сосна. Такое решение может показаться спорным, но только на первый взгляд. В литературе утвердилось мнение, подтвержденное таблицами хода роста, что еловые древостои более продуктивны, чем сосняки [3, 4, 9, 29, 34, 36]. Это мнение подкрепляется тем, что стволы ели полнодревеснее, ель в силу теневыносливости образует более густые древостои, высота ели в спелом возрасте сравнима с сосной.

Но сопоставления здесь обычно проводят для одинаковых классов бонитета. Наши исследования, проведенные в 1975-2005 гг. на материале более 1000 пробных площадей, показали, что при абсолютно одинаковых почвенно-грунтовых условиях (у пределах одного выдела) сосна, как правило, имеет более высокий класс бонитета против ели (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что класс бонитета сосны устойчиво выше, чем у ели, растущей с первой на одном выделе. При этом повышение доли участия в составе каждой из пород ведет к увеличению ее уровня производительности. Это явление, скорее всего, объясняется тем, что более благоприятные условия роста для данной породы (в основном для ели) позволяют ей добиваться конкурентных преимуществ и увеличивать свое представительство на выделе.

**Табл. 2. Соотношение классов бонитета сосны и ели при совместном произрастании**

| Фиксированный класс бонитета сосны | Класс бонитета ели при ее доле в составе |                   |                   |       | Фиксированный класс бонитета ели | Класс бонитета сосны при ее доле в составе |                   |                   |                   |
|------------------------------------|------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------|----------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                    | 7,5E                                     | 5,5E              | 3,5E              | 1,5E  |                                  | 7,5C                                       | 5,5C              | 3,5C              | 1,5C              |
| I <sup>a</sup>                     | I <sup>a</sup> ,3                        | I <sup>a</sup> ,4 | I <sup>a</sup> ,5 | I,5   | I <sup>a</sup>                   | -                                          | I <sup>o</sup> ,8 | I <sup>o</sup> ,3 | I <sup>a</sup>    |
| I                                  | I                                        | I,4               | I,7               | II    | I                                | I <sup>o</sup> ,8                          | I <sup>a</sup> ,2 | I <sup>a</sup>    | I <sup>a</sup> ,2 |
| II                                 | II,2                                     | II,4              | II,6              | III,6 | II                               | I <sup>a</sup>                             | I <sup>a</sup> ,7 | I <sup>a</sup> ,8 | I                 |
| III                                | -                                        | -                 | -                 | -     | III                              | I <sup>a</sup> ,8                          | I,1               | I,3               | I,6               |

Исключение из правила соотношения классов бонитета сосны и ели в лесах Беларуси было обнаружено только в самых лучших условиях произрастания. В нас это почвы, развивающиеся на легких или средних суглинках (иногда на тяжелой супеси с прослойками суглинка) и подстилаемые суглинками или легкими глинами с уровнем грунтовых вод 1,7-2,2 метра (следы оглеения), т.е. почвы имеют достаточный запас питательных веществ и опти-

мальный водный режим. Здесь сосна достигает максимума своего уровня производительности ( $I^b$  бонитет), а ель догоняет ее по росту. Только в этих условиях полностью проявляется преимущество ели (полнодревесность, густота) перед сосной, и запасы древесины в нее становятся больше, чем в сосны. Но таких условий роста в Беларуси очень мало – не более 5 % всех земель, занятых хвойными насаждениями [35]. В более худших условиях роста (в типах условий произрастания  $C_2$ - $C_4$  и  $D_2$ - $D_4$ ) запасы сосны и ели примерно равны в пределах статистической достоверности.

В последние годы в Беларуси дискутируется значение березы и осины. Это вызвано высокой стоимостью фанерного сырья и березовых балансов на мировых рынках и их хорошей ликвидностью. В то же время сравнительный анализ продуктивности и стоимости древесины на 1 га березы и осины показывает, что эти породы значительно уступают хвойным и дубу [3, 35, 36]. Облесение еловых вырубок после массового усыхания ели должно проводиться в основном искусственным путем, т.к. при иных способах восстановление вырубок главными породами не гарантировано.

Другой не менее важной проблемой, связанной с глобальным потеплением климата, является оптимизация связывания  $CO_2$ . В лесных биоценозах существуют сложные взаимодействия между связыванием диоксида углерода в процессе фотосинтеза и его выделением в процессе разложения органических остатков или сжигания древесины как топлива. На эту особенность обращают внимание многие ученые [7, 28, 29, 34]. Отметим, что наибольшая эффективность при связывании  $CO_2$  наблюдается при достаточно высоких возрастах рубки. Здесь диоксид углерода не только более длительное время сохраняется связанным в растущем древостое, но и после его рубки долго сохраняется в изделиях из древесины: брус, пиломатериалы, столярные изделия, мебель и т.д.

У настоящее время в Беларуси действуют возрасты рубок, установленные по правилам, принятым в СССР [1, 3, 9, 23], т.е. в основу их определения положены количественная и техническая спелость леса. Требования рыночной экономики и необходимость ведения экологизированного лесопользования как составной части устойчивого развития лесного хозяйства диктуют пересмотр установленного порядка определения возрастов рубок леса.

При определении спелостей леса экономической природы можно вспомнить, что таковой в России XIX в. и второй половины 20-х годов XX в. являлась хозяйственная спелость [17, 27]. Предложенная еще в XIX в. финансовая спелость леса из-за того, что приводит к чрезвычайно низким возрастам рубки работами А.Д. Рудзкого, Н.А. Моисеева и В.С. Чуенкова была обосновано отвергнута как в дореволюционное время, так и в последние десятилетия [3, 17, 25]. В настоящее время экономические особенности оптимизации процесса лесовыращивания до возраста рубки отражает экономическая спелость леса [2, 3, 17, 22, 25, 36]. Последние наиболее совершенные методики ее установления разработали Н.А. Моисеев [22] и А.Д. Янушко [36]. Суть этой спелости сводится к нахождению того возраста древостоя, в котором достигается максимальная рентабельность лесовыращивания. В Белару-

си долгое время господствовала точка зрения А.Д. Янушко, что оценку рентабельности лесовыращивания надо делать, используя стоимость древесины на корню, оцениваемую по лесным таксам. Мы считаем, что в настоящее время более уместен подход Н.А. Моисеева, который предлагает, что в этом случае надо учитывать цену заготовленной древесины. В Беларуси взят курс на постепенное исключение продаж леса на корню и переход на биржевую и аукционную торговлю заготовленной древесиной. Мы, рассчитывая возраст экономической спелости леса, учли также и затраты на первичную распиловку древесины, которые тоже зависят от диаметра бревен, а последствий есть функция возраста в заданных условиях произрастания.

При расчетах возраста экономической спелости прямо не учитывается экологическая составляющая, хотя о ее важности утверждают все названные авторы. Поэтому мы разработали новый вид спелости – эколого-экономическую. Обоснование этой спелости ранее описано достаточно подробно [7, 25]. В то же время этот вид спелости еще не получил должного распространения и пока не используется в практике. Поэтому дадим краткое ее описание. Как видно из названия, эта спелость включает две составляющие – экологическую и экономическую.

Спелостей экологической природы предложено много: водоохранная, почвозащитная и т.д. [9, 23]. Но для практического использования в сочетании с экономической требуется некоторый интегральный показатель. Проведя корреляционный анализ количественных величин экологических функций леса [15], пришли к выводу об их высокой взаимной корреляции, достигающей 0,90-0,95. Следовательно, за некоторый интегральный показатель экологической спелости леса можно взять один из количественных признаков, играющих важнейшую экологическую роль. Таким показателем здесь будет величина депонирования диоксида углерода, которая имеет глобальный характер в отличие от других критериев, привязанных к условиям конкретной местности или региона, пусть и крупного. Количество депонирования  $\text{CO}_2$  связано функциональной зависимостью с величиной прироста древесины, что делает вычисления методически достаточно простым. Но здесь есть одна особенность, которая вносит новые элементы в определение экологической спелости.

Приходя к важному выводу о том, что интегральную экологическую спелость можно определять по величине депонирования  $\text{CO}_2$ , мы "накрываем" тем самым все остальные экологические полезности. Экологическая спелость характеризуется максимальной среднегодовой производительностью лесов, которая выражается через максимум среднего прироста. Этот показатель аккумулирует процесс воспроизводства запаса леса, обуславливая постоянство лесопользования на конкретной территории в аспекте положения пространство-время.

Рассматривая лесные насаждения в дискретном состоянии, т.е. разрывая связь "пространство-время" приходим к оценке лишь отдельного древостоя и к его количественной спелости. Для удовлетворения лесосырьевых и лесоэкологических потребностей общества используется вся территория лес-

ного фонда в его пространственно-временной взаимосвязи. Поэтому отыскание максимальной величины среднего прироста необходимо выполнить не для отдельного древостоя, а для их преемственно-возрастной совокупности на площади не менее лесхоза. В этом основное отличие предложенного показателя от величины количественной спелости.

Изменение возраста спелости и рубки приводит к перераспределению древостоев по группам возраста и имеет следствием различные площади ежегодно вырубаемых древостоев, что сказывается на величине среднего прироста. Имитационное моделирование величин запасов и средних приростов, взятых из местных таблиц хода роста нормальных и модальных древостоев для совокупности древостоев на площади не менее лесхоза при используемой схеме нормального леса, проведенное для оборотов рубки от 60 до 160-180 лет, позволили установить возраст наступления достижения максимальной величины суммарного среднего прироста, т.е. наибольшей интенсивности депонирования  $\text{CO}_2$ , выделения  $\text{O}_2$  и максимум других полезностей на рассматриваемой территории, что и представляет собой экологическую спелость леса [17].

Имея данные об экономической и экологической спелостях, можем определить эколого-экономическую спелость леса, которая имеет свои особенности. Здесь нельзя обойтись максимизацией некоторого, даже весьма значительного фактора, все они выступают в роли равноправных показателей. В этом случае необходимо применения метода индексов, чтобы сделать разнородные показатели сравнимыми.

Определяя эколого-экономическую спелость, имеем две альтернативы – экономическую ( $C_1$ ) и экологическую ( $C_2$ ). Задачу можно расширить, используя результаты расчетов экономической и экологической спелостей с помощью разных методов. В любом случае необходимо определиться с принципом выбора альтернатив, т.е.  $\{\{\chi\}, \Phi\} \rightarrow \chi^*$ , где  $\{\chi\}$  – множество альтернатив;  $\Phi$  – принцип выбора;  $\chi^*$  – выбранные альтернативы [5].

В нашей задаче нельзя отдать предпочтение некоторой альтернативе, т.к. и экономические и экологические компоненты являются равноправными. Поэтому здесь невозможна бинарная операция сравнения по некоторому свойству, т.е.  $\chi^1 R \chi^2$ , где  $R$  – некоторый признак;  $\chi^1 \chi^2$  – соответствующие альтернативы. В нашем случае неприемлемы аксиомы антисимметричности, когда из  $\chi^1 R \chi^2$  и  $\chi^2 R \chi^1$  верно лишь одно; и антирефлексивности или несовпадения альтернатив  $\chi^1 R \chi^2$  [5].

При вычислении эколого-экономической спелости необходимо использовать такой прием системного анализа, как композиция оценок. Поскольку экономическая и экологическая спелости в критериальном пространстве представлены относительно друг друга неуллучшаемыми альтернативами, т.е. принадлежащими множеству Парето, то и решение будет соответствовать требованиям системного анализа для подобных ситуаций. В данном аспекте наиболее приемлем метод максимизации функции  $f$  от критериев

$(C_1, C_2, \dots, C_n)$ , т.е.  $f = \sum_{i=1}^n a_i C_i \rightarrow \max$ . Именно этот вид функции (линейная

свертка критериев с весами  $a_i$ ) наиболее часто реализуем в практике решения множества Парето [5].

Величины различных спелостей леса для главных древесных пород и их сравнение с новыми спелостями, предложенными нами, показаны в табл. 3. Для уменьшения объема в таблице приведены данные только для средних классов бонитета [3, 8]. Из табл. 3 видно, что действующие возрасты рубки в лесах I группы соответствуют эколого-экономической спелости леса. В лесах II группы требуется повышение возрастов рубки для ряда пород и классов бонитета.

**Табл. 3. Спелости леса в древостоях Беларуси**

| Порода,<br>класс<br>бонитета | Возрасты спелости, лет |                  |                   |                    |                    |                                | Действующие<br>возрасты рубки в<br>группах лесов |         |
|------------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|---------|
|                              | количе-<br>ственн.     | техни-<br>ческая | хозяй-<br>ственн. | экономи-<br>ческая | экологи-<br>ческая | эколого-<br>эконо-<br>мическая | I                                                | II      |
| Нормальные древостои         |                        |                  |                   |                    |                    |                                |                                                  |         |
| Сосна, II бонитет            | 79                     | 96               | 110               | 140                | 115                | 120                            | 101-120                                          | 81-100  |
| Ель, I бонитет               | 80                     | 88               | 100               | 140                | 130                | 120                            | 101-120                                          | 81-100  |
| Дуб, II бонитет              | 93                     | 101              | 140               | 180                | 130                | 130                            | 121-140                                          | 101-120 |
| Модальные древостои          |                        |                  |                   |                    |                    |                                |                                                  |         |
| Сосна, II бонитет            | -                      | -                | 80                | 70                 | 90                 | 90                             | 101-120                                          | 81-100  |
| Ель, I бонитет               | -                      | -                | 80                | 100                | 100                | 90                             | 101-120                                          | 81-100  |
| Дуб, II бонитет              | -                      | -                | 110               | 120                | 105                | 110                            | 121-140                                          | 101-120 |

**Выводы.** Обобщая изложенное, приходим к следующим выводам:

- Глобальное изменение климата приведет в лесах Беларуси к сокращению еловых лесов, особенно в южной и средней части страны.
- Полноценной заменой ели в местах ее массового усыхания могут быть лиственница европейская и в южных районах дуб черешчатый. Наибольшие площади еловых вырубок в средней части Беларуси может занять сосна. Последняя, как показали наши исследования, не уступает ели по продуктивности за исключением около 3-5 % площадей в самых лучших условиях произрастания.
- Экологизация лесопользования, являющаяся составной частью устойчивого развития лесного хозяйства, требует учета экологического императива при расчете возрастов и оборотов рубки леса. Это должно выражаться через предложенную экологическую спелость.
- Для учета экономических и экологических показателей оптимизации лесовыращивания предложена эколого-экономическая спелость леса, оптимально сочетающая экономические и экологические факторы при установлении возрастов рубки.

## Литература

1. **Анучин Н.П.** Лесоустройство / Н.П. Анучин. – М. : Сельхозиздат. – 1962. – 568 с.
2. **Атрошенко О.А.** Методы определения экономической спелости леса в нашей стране и за рубежом / О.А. Атрошенко, А.Д. Янушко // Лесоведение и лесное хозяйство. Республиканский межведомственный сб. научных трудов. – Минск : Изд-во "Выш. шк.". – 1988. – Вып. 23. – С. 98-103.
3. **Багинский В.Ф.** Лесопользование в Беларуси / В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик. – Минск : Изд-во "Беларуская навука". – 1996. – 367 с.
4. **Багинский В.Ф.** Оптимизация видового состава лесов Беларуси / В.Ф. Багинский // Трансграничное сотрудничество в области охраны окружающей среды: состояние и перспективы развития : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины. – 2006. – С. 262-267.
5. **Багинский В.Ф.** Системный анализ в лесном хозяйстве / В.Ф. Багинский. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины. – 2009. – 168 с.
6. **Горошко М.П.** Біометрія / М.П. Горошко, С.І. Миклуш, П.Г. Хомюк. – Львів : Вид-во "Камула". – 2004. – 236 с.
7. **Горшков С.П.** Потепление климата и стихийные бедствия через призму CO<sub>2</sub> / С.П. Горшков // Труды русского географического общества. – Санкт-Петербург : Русское географическое общество. – 2005. – Т. 5. – С. 330-334.
8. **Единовременный** государственный учет лесов Республики Беларусь по состоянию на 01 января 2006 г. – Минск : Изд-во "Белгослес". – 2006. – 89 с.
9. **Ермаков В.Е.** Лесоустройство / В.Е. Ермаков. – Минск : Изд-во "Вышэйшая шк.". – 1993. – 259 с.
10. **Кайрюкштіс Л.А.** Гибель лесов в странах Западной Европы и возможные последствия / Л.А. Кайрюкштіс // Лесное хозяйство. – 1989. – № 5. – С. 34-38.
11. **Качановский С.В.** Экологический аспект устойчивого развития Беларуси в контексте общеевропейских проблем // Европа – наш общий дом. Экологические аспекты : темат. доклады Междунар. науч. конф. – Минск : Изд-во "НАН Беларуси. – 1999. – Ч. 1. – С. 84-92.
12. **Киотский** протокол к рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Официальный русский перевод ООН. – 1997. – 27 с.
13. **Киселев В.Н.** Потепление или похолодание / В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская // Лесное и охотничье хозяйство. – Минск. – 2007. – № 2. – С. 27-29.
14. **Комплексная** продуктивность земель лесного фонда / Коллектив авторов под ред. В.Ф. Багинского. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины. – 2007. – 205 с.
15. **Кунцевалов М.А.** Коэффициенты экологической эффективности леса / М.А. Кунцевалов, В.В. Успенский, А.К. Артюховский // Лесной журнал : известия ВУЗов. – 2000. – № 2. – С. 36-40.
16. **Лазарева М.С.** Климатически детерминированная динамика типологической структуры сосняков Беларуси в практику лесоустройства / М.С. Лазарева // Лесная таксация и лесоустройство : Междунар. науч.-практ. журнал. – Красноярск : СибГТУ. – 2008. – № 1. – С. 115-122.
17. **Лапицкая О.В.** Эколого-экономические основы определения спелости леса : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. экон. наук / О.В. Лапицкая. – Минск : Изд-во БГТУ. – 2001. – 23 с.
18. **Логинов В.Ф.** Причины и следствия климатических изменений / В.Ф. Логинов. – Минск : Изд-во "Навука і тэхніка". – 1992. – 319 с.
19. **Логинов В.Ф.** Климат Беларуси / В.Ф. Логинов – Минск : Изд-во Ин-та геологии АН Беларуси. – 1996. – 234 с.
20. **Манько Ю.И.** Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов / Ю.И. Манько, Г.А. Гладкова. – Владивосток : Дальнаука. – 2001. – 228 с.
21. **Маслов А.Л.** Усыхание еловых лесов от засух на европейской территории СССР / А.Л. Маслов // Лесоведение. – 1972. – № 6. – С. 77-87.
22. **Моисеев Н.А.** Экономика лесного хозяйства / Н.А. Моисеев. – М. : Изд-во МГУЛ. – 1999. – Ч. 1. – 159 с.
23. **Мурахтанов Е.С.** Лесоустройство / Е.С. Мурахтанов, Н.А. Моисеев, П.В. Мороз, Д.П. Столяров. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть". – 1983. – 344 с.

24. **Национальный** отчет о демонстрации хода выполнения Киотского протокола. – Минск : Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – 2006. – 36 с.

25. **Неверов А.В.** Спелость леса как эколого-экономическая категория / А.В. Неверов, О.В. Лапицкая // Проблемы лесоведения и лесоводства. сб. научн. трудов. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси. – 2001. – Вып. 53. – С. 183-187.

26. **Никитин, К.Е.** Методы и техника обработки лесохозяйственной информации / К.Е. Никитин, А.З. Швиденко. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть". – 1978. – 270 с.

27. **Орлов М.М.** Лесоустройство / М.М. Орлов. – Л. : Гостехиздат. – 1927. – Т. 1. – 428 с.

28. **Писаренко А.И.** Экологические аспекты управления лесами России / А.И. писаренко // Лесное хозяйство. – 2000. – № 3. – С. 8-10.

29. **Равино А.В.** Эколого-экономическая оценка лесных ресурсов Республики Беларусь / А.В. Равино : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. экон. наук – Минск : Изд-во БГТУ. – 2001. – 20 с.

30. **Рамочная** конвенция ООН об изменении климата. Официальный русский перевод ООН. – 1992. – 20 с.

31. **Селочник Н.Н.** Факторы деградации лесных экосистем / Н.Н. Селочник // Лесоведение. – 2008. – № 5. – С. 52-60.

32. **Тимофеев В.П.** Отмирание ели в связи с недостатком влаги / В.П. Тимофеев // Лесное хозяйство. – 1939. – № 9. – С. 6-15.

33. **Тимофеев В.П.** Борьба с усыханием ели / В.П. Тимофеев. – М. : Гослестехиздат. – 1994. – 175 с.

34. **Федоров, Н.И.** Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием / Н.И. Федоров, В.В. Сарнацкий. – Минск : Изд-во "Технология". – 2001. – 180 с.

35. **Юркевич И.Д.** География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Минск : Изд-во "Наука" и техника". – 1965. – 288 с.

36. **Янушко А.Д.** Лесное хозяйство Беларуси / А.Д. Янушко. – Минск : Изд-во БГТУ. – 2001. – 248 с.

### ***Багинський В.Ф., Лапицька О.В. Деякі проблеми адаптації лісового господарства Білорусі до зміни клімату***

Показано, що глобальна зміна клімату в лісах Білорусі призведе до скорочення площ ялинових лісів. Запропоновано замінити їх дубом, модриною європейською і сосною звичайною. Остання, згідно з дослідженнями авторів, в умовах Білорусі не поступається ялині за продуктивністю. Для підвищення рівня депонування діоксиду вуглецю запропоновано встановлювати вік рубання деревостанів з урахуванням запропонованої авторами екологічної та еколого-економічної стиглостей, що дасть змогу підвищити внесок лісів у зниження кількості парникових газів.

**Ключові слова:** клімат, ялина, дуб, сосна, модрина європейська, продуктивність деревостану, стиглість, вік рубки.

### ***Bahinski V.F., Lapitskaya O.V. Some issues of adaptation of forestry of Belarus to climatic changes***

The global climate change was demonstrated to involve a reduction in the area of spruce stands in Belarus. It has been suggested that spruce stands be replaced by oakeries, pineries and European larch stands. In Belarus pines, according to the studies, are as good as spruces for productivity. To increase the level of CO<sub>2</sub> sequestration the authors proposed that the exploitable age should be set with regard to ecological and eco-economic maturities, which will permit to increase the contribution of forests to the decrease in the amount of greenhouse gases.

**Keywords:** climate, fir-tree, oak-tree, pine, european larch, efficacy of forest, maturity of forest, exploitable age.