

Ч. 2. - Биробиджан, 1992. - С. 19 - 22. [5]. Огневский А. В. Влияние леса на весенние максимальные расходы воды в реках // Метеорология и гидрология. - 1977. - № 3. - С. 47 - 59. [6]. Протопопов В. В. О возможных изменениях экологических функций лесов Сибири // Трансформация лесными экосистемами факторов окружающей среды. - Красноярск, 1994. - С. 4 - 9. [7]. Рахманов В. В. Гидрологическая роль лесов. - М., 1984. - 241 с. [8]. Сапожников А. П. Нужны региональные системы показателей для оценки рекреационных ресурсов // Лесн. хоз-во. - 1991. - № 8. - С. 40 - 42. [9]. Шейнгауз А. С. Принципы деления лесов по народнохозяйственному значению // Использование и воспроизводство лесных ресурсов Дальнего Востока: Тез. докл. Всесоюз. конф. Ч. 1. - Хабаровск, 1972. - С. 157 - 160.

Поступила 11 июня 1996 г.

УДК 630*611:630*901

Ю. В. ЛЕБЕДЕВ

Институт леса УрО РАН

Лебедев Юрий Владимирович родился в 1939 г., окончил в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией эколого-экономических проблем лесопользования Института леса УрО РАН. Имеет 126 печатных работ в области эколого-экономических проблем лесопользования на Урале.



МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОБЩЕЙ СИСТЕМЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГИОНА

Рассмотрены смысл многоцелевого лесопользования как части общей системы природопользования, этапы его оптимизации: формализация системы, целевые функции, критерии оценки, принципы решения задач.

The significance of multipurpose forest utilization as part of general nature use system, the stages of its optimization: the formalization of the system, the target functions, the assessment criteria, the principles of the problems' solution have been considered.

Многоцелевое лесопользование как часть общей системы природопользования включает заготовку и переработку лесных ресурсов и их воспроизводство, использование и охрану экологических и социальных функций леса, сохранение, воспроизводство и рациональное изменение экологического баланса в лесных экосистемах. Под экологическим балансом в данном случае понимается количественное сочетание экологических компонентов: растений-продуцентов, животных-консументов, организмов-редуцентов, воды, газов, субстратов-почвы, обеспечивающих естественное формирование и поддержание лесных экосистем.

Увязка многоцелевого лесопользования с общей системой природопользования заключается в учете при эксплуатации природно-ресурсного потенциала леса взаимосвязей между лесными ресурсами и другими видами природных ресурсов (почвенные, водные и др.), воспроизводством лесных ресурсов и восстановлением всего природного комплекса данной территории, экологическими и социальными функциями леса и общей совокупностью природных условий территории (климатом), состоянием экологического баланса в лесных экосистемах и сочетанием экологических компонентов во всей природной среде, обеспечивающим ее естественное формирование и поддержание на данной территории. Необходимо учитывать межгосударственные принципы лесопользования, сохранения и сбалансированного развития лесов на планете.

В соответствии с существующими нормативно-правовыми актами обычно рассматривают следующие виды лесопользования: заготовка древесины, живицы, недревесных материалов, побочные лесные пользования, пользование лесным фондом для нужд охотничьего хозяйства, в научно-исследовательских, культурно-оздоровительных, туристических и спортивных целях. Здесь не представлено воспроизводство лесных ресурсов как вид лесопользования. Между тем в работах Б.П. Колесникова [4], Н.А. Моисеева [10], Т.С. Лобовикова [8], П.В. Васильева [1], Н.И. Кожухова [5] показано, что расширенное воспроизводство, характеризующееся повышением общей продуктивности лесных площадей, является обязательным элементом многоцелевого лесопользования. К основным видам работ по воспроизводству лесов относятся выращивание семян и саженцев в лесных питомниках, рубки ухода, реконструкция малоценных насаждений. В общей системе природопользования это использование лесных земель-почвы.

При оценке природных условий лесных экосистем, как правило, исследуют роль леса в культурно-оздоровительных (рекреационных) целях. Большую часть природных условий (экологические и социальные функции леса) в качестве объектов использования не рассматривают. Но в экономической литературе по лесному хозяйству [5, 13] существует множество предложений по оценке таких средозащитных функций леса, как водоохранная, почвозащитная, ветрогасящая и др. По существу это примеры лесопользования нелесными отраслями хозяйства. В систему многоцелевого лесопользования пока не включают сохранение, воспроизводство и рациональное изменение экологического баланса в лесных

экосистемах. Данная форма лесопользования может осуществляться при тесной увязке с общей системой природопользования.

Для лесов таежной зоны одним из элементов такой увязки является решение вопросов хозяйственного использования лесопокрытой территории: развитие промышленности, сельского хозяйства, селитебных зон и др.

Для качественной и количественной оценки многоцелевого лесопользования распространены следующие его определения: постоянное, неистощительное, равновесное, экологическое, оптимальное, устойчивое и др. Последний термин, все более широко применяемый в последнее время, полагает лесопользование как поддержание ряда важных характеристик, которые совместно или порознь сохраняют всю совокупность лесных земель в состоянии, обеспечивающем регулярное получение ожидаемых обществом товаров и услуг. Все важные характеристики предложено представлять в виде критериев и наиболее подходящих количественных индикаторов.

Оценка характера многоцелевого лесопользования связана с определенной его формализацией, а для строгого решения задач определения вариантов лесопользования необходима постановка соответствующих задач оптимизации: формулировка цели, общий анализ, обоснование совокупности критериев оптимизации, выбор методов решения задач [3].

Для формализованного представления многоцелевого лесопользования может быть использовано пространство параметров состояния $\{X\}$ и управления $\{Y\}$. Первые заданы, вторые можно изменять при формировании системы многоцелевого лесопользования. Это деление условно, так как любая группа параметров в зависимости от решаемых задач может характеризовать или состояние системы, или управление ею.

Параметры состояния разделены на независимые, характеризующие общий природно-ресурсный потенциал территории, биологическое разнообразие лесных экосистем, их эколого-экономическую оценку, зависимые производственные и описывающие нормативно-правовую базу многоцелевого лесопользования. Перечень конкретных параметров лесопользования дан на рис. 1.

Значения каждого параметра находятся в определенных пределах, накладываемых условиями существования лесных биоценозов и условиями лесопользования. Все группы параметров взаимосвязаны: в одних случаях установлены вероятностно-достоверные зависимости (например таблицы хода роста древостоев), в других – логически понятные связи в общем виде (водорегулирующая функция леса), в третьих необходимы специальные исследования (например роль отдельных компонентов леса в задержании техногенных загрязнений атмосферы). Для управления многоцелевым лесопользованием важно знать зависимости параметров экологических последствий от различных вариантов и видов лесопользования. Конкретные виды параметров необходимо

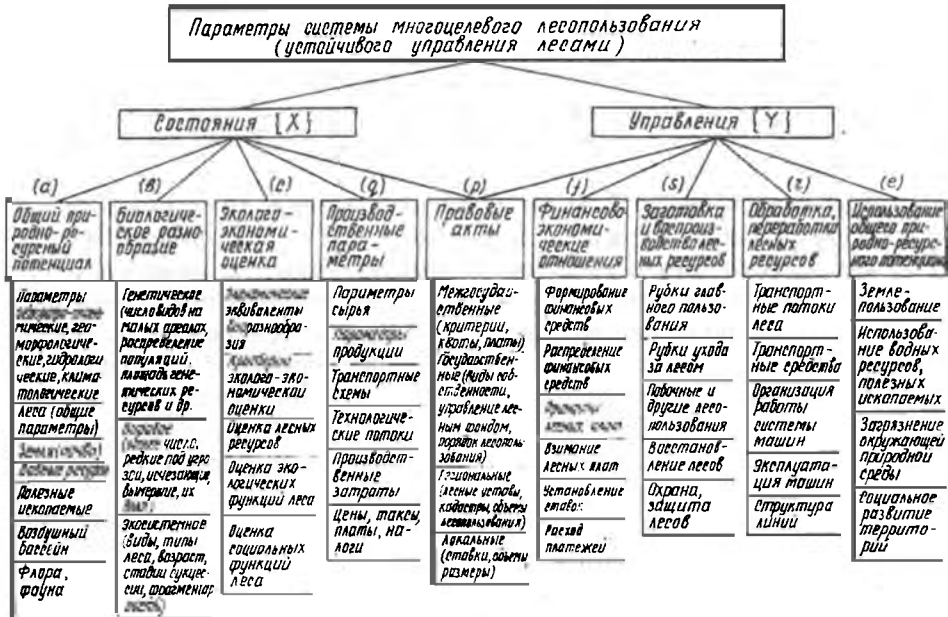


Рис. 1. Параметры системы многоцелевого лесопользования

представлять в математической форме, т. е. характеризовать вид распределения, его форму, масштаб, взаимозависимости в последовательности, характер динамики во времени и пространстве.

Качество многоцелевого лесопользования оценивается показателями эффективности (критериями оптимизации), которыми могут быть любые из параметров состояния и управления или характеристики лесопользования, определяемые в зависимости от этих параметров.

Задачи оптимизации многоцелевого лесопользования разнообразны. В общем случае они могут быть разделены на два типа:

поиск для существующих параметров состояния лесных экосистем {X} оптимальных значений параметров управления лесопользованием {Y};

поиск для определенных заданных параметров управления лесопользованием {Y} оптимальных значений параметров лесных экосистем {X}.

В задачах первого типа из возможных вариантов организации многоцелевого лесопользования, характеризующихся совокупностью параметров управления (рис. 1), для существующих лесных экосистем с параметрами состояния выбирают такой, при котором критерий оптимальности U получит экстремальное значение. Целевая формула имеет вид

$$U \{ (f); (s); (r); (e) \} \rightarrow \text{ext} \quad (1)$$

при $\{ (a); (b); (c); (q); (p) \} = \text{const.}$

В таких задачах среди параметров управления в качестве основных могут быть выделены параметры совершенствования: процесса конкретного вида лесопользования (s), лесоперерабатывающего процесса (r), финансово-экономической системы (f).

При решении конкретных задач выбирают главные параметры, в значительной мере определяющие большую часть остальных. Так, при выборе рационального способа рубки леса в заданных природно-экономических условиях главными являются возрастная структура и тип леса; условиями и ограничениями – расширение площади несплошных рубок. Аналогично формулируется цель в задачах формирования транспортной сети лесопромышленного региона, создания лесопромышленной системы с максимальным использованием древесной массы и др.

В задачах второго типа среди существующих лесных экосистем находят такие, которые при определенных заданных значениях параметров управления обусловят экстремум критерия оптимальности U . Целевая функция имеет вид

$$U \{(a); (e); (c); (q); (p)\} \rightarrow \text{ext} \quad (2)$$

при $\{(f); (s); (r); (e)\} = \text{const.}$

В таких задачах доминирует экологический аспект. К ним относятся максимизация углекислогогазопоглощающей роли лесов, обоснование возрастов и оборотов рубок леса, размеров главного пользования, программы лесовозобновления с учетом особенностей многоцелевого лесопользования, определение оптимальной залесенности региона и его отдельных зон.

Связь многоцелевого лесопользования с общей системой природопользования заключается в учете связей лесных экосистем с общими природными комплексами и характера лесопользования с характером других видов природопользования.

Критерии эффективности многоцелевого лесопользования должны быть количественно измеряемыми величинами. Мы исходим из положения, что основной критерий формируется в соответствии со сформулированными выше целями и заключается в производстве определенного (не всегда максимального) количества материальных благ и обеспечении благоприятных условий окружающей природной среды с минимальными совокупными затратами живого и овеществленного труда.

В общем виде основной критерий оптимизации многоцелевого лесопользования представляется в векторной форме:

$$U = u (\max \Pi; \max \mathcal{E}; \min \mathcal{Z}), \quad (3)$$

где $\max \Pi$ – критерий максимального использования потребительских функций леса, в том числе экологических и социальных;

$\max Z$ – критерий максимального обеспечения благоприятных условий окружающей природной среды, соответствующий сохранению биоразнообразия лесных экосистем;

$\min Z$ – критерий минимума суммарных затрат живого и овеществленного труда.

Связь многоцелевого лесопользования с общей системой природопользования в критерии (3) осуществляется наложением ограничений на изменение параметров общего природно-ресурсного потенциала территории $(a_1) < (a_i) < (a_n)$, ограничений на изменение параметров использования общего природно-ресурсного потенциала $(e_1) < (e_i) < (e_n)$.

Оптимизация по векторному критерию (3) должна выполняться на основе прогнозных расчетов развития лесного комплекса и учета усиления экологической и социальной роли лесов. То есть основной критерий отражает существование компромисса при решении экономических проблем и охраны окружающей среды.

Наряду с основным критерием для наиболее полной характеристики как отдельных видов лесопользования, так и всей системы многоцелевого лесопользования последовательно вводят дополнительные критерии. Так, критерий эффективного использования потребительских функций леса имеет вид

$$\max \Pi = u(\max P; \max S; \max C), \quad (4)$$

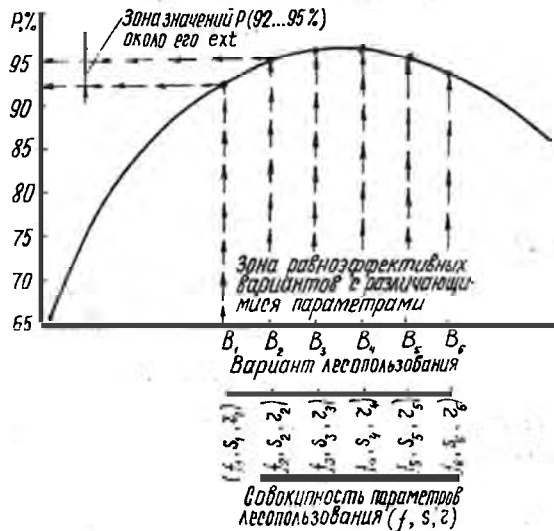
где $\max P$, $\max C$ – критерии максимального использования соответственно сырьевых ресурсов и социальных функций леса;

$\max S$ – критерий максимальной реализации защитных функций леса.

Значения параметров, соответствующие оптимальному варианту по данным критериям, должны находиться в определенных пределах, обеспечивающих, в частности, сохранение биологического разнообразия, неистощительности (или постоянства) лесопользования, расширенное воспроизводство лесов и другие условия.

Общие положения однокритериальной оптимизации многоцелевого лесопользования можно разделить на две части: 1) когда наилучший вариант определяется в результате применения строгих математических методов и выражается в однозначной совокупности найденных параметров; 2) когда однозначный результат определить не удастся. Расчеты показывают, что в большинстве случаев в задачах оптимизации сложных систем характерна пологость изменения критерия оптимальности при приближении к экстремуму. На рис. 2 дана схема такой ситуации, где при поиске рационального варианта лесопользования по критерию $\max P$ получена зона относительно равнозначных вариантов B, B_1, B_6 с малоотличающимися значениями критерия P, P_1, P_6 , характеризующихся существенно отличающимися совокупностями параметров управления $\{(f)_1; (s)_1; (r)_1; (e)_1\}; \dots; \{(f)_6; (s)_6; (r)_6; (e)_6\}$. Эта особенность не позволяет однозначно определить наилучший вариант лесопользования по любому частному критерию. Неопределенность оптимальных решений обусловлена неполным знанием условий

Рис. 2. Схема образования зоны неопределенности оптимальных решений



будущего функционирования лесных экосистем (особенно после антропогенного воздействия на них); неточностью и недостаточностью исходной информации о связях между параметрами и критериями; устойчивостью экономических и экологических показателей.

При наличии зоны неопределенности следует находить возможно более однозначные решения; они основаны на эвристических методах [11], в которых используют специальные (дополнительные) критерии. Для задач оптимизации лесопользования приемлемы критерии средних затрат, минимаксных затрат, минимаксного риска [9]. Для определения таких критериев составляют матрицу вариантов многоцелевого лесопользования (рис. 3). Здесь индекс i означает номер варианта лесопользования в зоне неопределенности, индекс j – номер совокупности параметров управления системой лесопользования. Тогда значения критериев P располагаются по диагонали матрицы и имеют вид $P_{11}, P_{22}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{66}$ (при $i = j$).

Варианты лесопользования – параметры управления $Y = \{f; s; z\}$	Условия многоцелевого лесопользования – параметры состояния $X = \{a; b; c; q; p; f\}$				
	X_1	...	X_i	...	X_n
Y	P_{11}		P_{ii}		P_{1n}
...
Y_i	P_{i1}		P_{ii}		P_{in}
...
Y_n	P_{n1}		P_{ni}		P_{nn}

Рис. 3. Схема матрицы вариантов многоцелевого лесопользования

Критерий средних затрат определяют по максимальному из средних значений показателя P для каждой совокупности параметров (по вертикали):

$$\max_j \left(\frac{P_{1j} + \dots + P_{ij} + \dots + P_{6j}}{6} \right) = \max_j \bar{P}_j. \quad (5)$$

При использовании критерия минимаксных затрат выбирают вариант лесопользования, для которого худший результат лучше, чем худший для любого другого варианта:

$$\max_j P_j^{\min} = \min_j \max_i P_{ij}. \quad (6)$$

Этот критерий, по сравнению с критерием (5), страхует от отрицательных последствий при самой неблагоприятной реализации системы управления многоцелевым лесопользованием.

Для особо важных случаев организации лесопользования (например в лесах защитных категорий) рациональный вариант выбирают по критерию минимаксного риска. Матрица P_{ij} преобразуется в матрицу рисков R_{ij} согласно соотношению

$$R_{ij} = P_{ij} - P_i^{\max} = P_{ij} - \max_j \bar{P}_j. \quad (7)$$

Смысл этого критерия сводится к устранению риска слишком больших потерь какой-либо функции леса при появлении неблагоприятных условий функционирования лесных экосистем при их многоцелевом использовании.

Таким образом, в результате однокритериальной оптимизации по определенному частному критерию находят оптимальные значения параметров управления многоцелевым лесопользованием; каждый частный критерий выделяет свою совокупность параметров. Поэтому приемлемое решение по векторным критериям (3) и (4) будет соответствовать промежуточным вариантам между вариантами с $\max \Pi$, $\max \mathcal{E}$, $\min \mathcal{Z}$ или с $\max P$, $\max S$, $\max C$.

Многокритериальные задачи решают путем ранжировки критериев по важности [12] или синтеза глобального критерия [2]. В первом случае критерии оптимизации жестко располагаются в порядке относительной важности или произвольно, но тогда каждому соответствует определенная уступка. Оптимальный вариант многоцелевого лесопользования соответствует экстремальному значению самого важного критерия. При менее жестком расположении оптимальный вариант полагает отклонение от экстремальных значений частных критериев, т. е. уступки этим критериям. Так, в рациональном варианте лесопользования в лесах промышленной зоны каждому частному критерию $\max P$, $\max S$ и $\max C$ соответствует определенное отклонение δ_P , δ_S и δ_C .

Поиск рационального варианта ведется в такой последовательности:

- 1) найти $\max P(f_i, s_i, r_i, e_i)$;

- 2) найти $\max S(f_2, s_2, r_2, e_2)$;
 $P(f_2, s_2, r_2, e_2) \geq \max P(f_1, s_1, r_1, e_1) - \delta_P$; (8)
- 3) найти $\max C(f_3, s_3, r_3, e_3)$;
 $P(f_3, s_3, r_3, e_3) \geq \max P(f_1, s_1, r_1, e_1) - \delta_P$;
 $S(f_3, s_3, r_3, e_3) \geq \max S(f_2, s_2, r_2, e_2) - \delta_S$.

Значения уступок $\delta_P, \delta_S, \delta_C$ определяют через взаимосвязи частных критериев. Так, для определения δ_S критерию S задают несколько значений $\delta_S^{(1)}, \delta_S^{(2)} \dots$ и определяют соответствующие значения $P(\delta_S^{(1)}), P(\delta_S^{(2)}) \dots$. Отсюда становится ясной зависимость δ_S от P . На рис. 4 дана графическая интерпретация этой зависимости. Результаты расчетов показывают, что вначале даже небольшие уступки δ_3 позволяют получить значительный выигрыш по критерию $\max P$. С дальнейшим увеличением уступки δ_3 выигрыш растет медленнее.

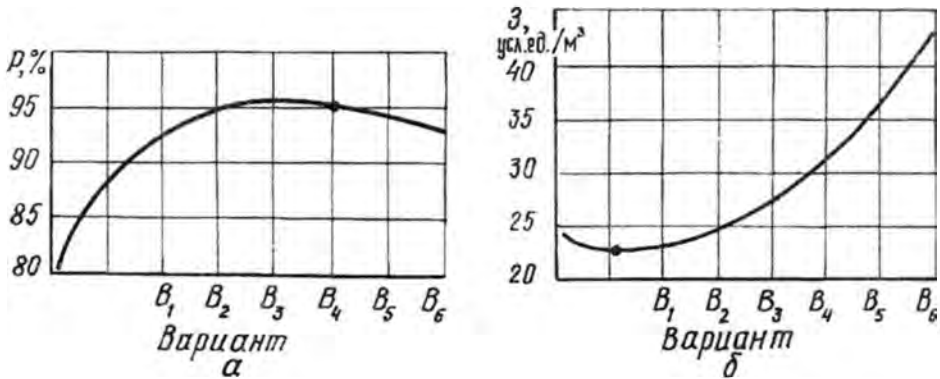
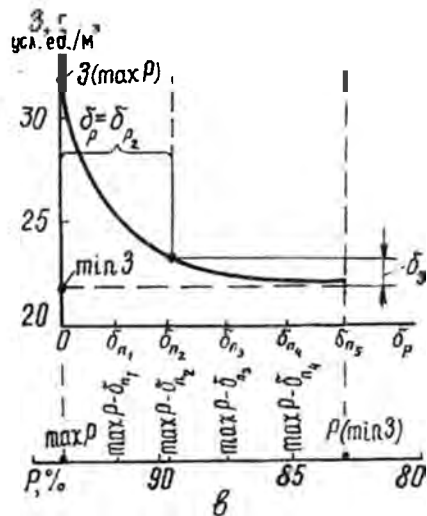


Рис. 4. Графическая интерпретация обоснования уступок критериям $\max P$ и $\min Z$: а – зависимость критерия уровня использования сырьевых ресурсов леса ($P, \%$) от вариантов лесопользования; б – зависимость критерия суммарных затрат труда на получение продукции ($Z, \text{ усл. ед. / 1 м}^3$ древесины) от вариантов лесопользования; в – зависимость между критериями суммарных затрат труда Z и уровнем использования сырьевых ресурсов леса P



Рассмотренная методология многоцелевого лесопользования позволяет подойти к решению проблемы устойчивого управления лесами, когда обеспечивается должный баланс между решением социально-экономических проблем и сохранением окружающей природной среды. В практическом плане многокритериальная оптимизация лесопользования была применена при поиске эффективной организации переработки древесных ресурсов на Урале [6, 7]. Предложены решения по распределению, специализации, концентрации и оптимизации транспортно-технологических потоков леса, позволяющие из заданного объема древесных ресурсов получать максимально возможный объем товарной продукции; важными ограничениями в решении данной задачи являлось сохранение средоформирующих функций лесов, их экологического потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Васильев П.В. Экономика использования и воспроизводства лесных ресурсов. - М.: АН СССР, 1963. - 478 с. [2]. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Сов. радио, 1972. - 310 с. [3]. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. - М.: Наука, 1971. - 295 с. [4]. Зонально-географические и типологические закономерности естественного возобновления в лесах Свердловской области / В.П. Колесников, Н.А. Коновалов, Р.П. Исаева, Н.А. Луганский // Возобновление леса. - М.: Колос, 1975. - С. 14 - 21. [5]. Кожухов Н.И. Экономика воспроизводства лесных ресурсов. - М.: Лесн. пром-сть, 1988. - 264 с. [6]. Лебедев Ю.В. Совершенствовать региональные транспортно-технологические связи предприятий // Лесн. пром-сть. - 1984. - № 11. - С. 12 - 15. [7]. Лебедев Ю.В. Оптимизация использования вторичных древесных ресурсов на Урале // Сб. тр. ИЛ УрО РАН. - Екатеринбург, 1992. - С. 19 - 28. [8]. Лобовиков Т.С. Лесные предприятия будущего и воспроизводство лесных ресурсов // Лесн. журн. - 1977. - № 4. - С. 21 - 24. - (Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. - М.: Высш. шк., 1976. - 320 с. [10]. Моисеев Н.А. Воспроизводство лесных ресурсов. - М.: Лесн. пром-сть, 1980. - 263 с. [11]. Оуэн Г. Теория игр. - М.: Мир, 1971. - 230 с. [12]. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. - М.: Сов. радио, 1975. - 192 с. [13]. Хачатуров Т.С. Экономика природопользования. - М.: МГУ, 1991. - 273 с.

Поступила 28 июня 1996 г.