

УДК 11.52/.53

В.В. Сысуев<sup>1</sup>

## ОБ «ОПТИМИЗАЦИИ» ЛАНДШАФТОВ

Корректное формулирование задач оптимизации и оптимального управления природопользованием противопоставляется тенденциям необоснованного и огульного использования в физической географии термина «оптимизация». Рассмотрены некоторые типичные задачи оптимального управления лесопользованием. Содержательное использование методов теории оптимизации открывает новые перспективы развития и практического применения методов ландшафтного планирования и устойчивого природопользования, способствует синтезу физической и экономической географии.

*Ключевые слова:* природно-антропогенные ландшафты, оптимизация, оптимальное управление, лесопользование.

**Введение.** В одной из последних работ В.А. Николаев обобщил задачи развития ландшафтной стратегии: «...для перехода земной цивилизации к устойчивому развитию необходимо решить две взаимосвязанные ландшафтно-экологические задачи планетарного масштаба. Первая состоит в *оптимизации* всех существующих *природно-антропогенных ландшафтов* с целью *преобразования* их в истинно *культурные* (ноосферные). Вторая – в сбережении, уходе и восстановлении естественных природных комплексов, наиболее надежно гарантирующих относительную стабильность природной среды за счет гомеостазиса» [Николаев, 2013]. Отметим, что теоретические и прикладные проблемы оптимизации взаимодействия природы и общества обсуждаются в научной литературе уже не один десяток лет [Проблемы..., 1978; Stewart et al., 2004].

Повышение экологической эффективности природопользования может быть достигнуто управлением теми элементами деятельности, продукции и услуг, которые значительно воздействуют на окружающую среду. В связи с этим рекомендуется применять *планирование и все другие управленческие действия* [ГОСТ Р ИСО 14031, 2001]. Ландшафтное планирование – один из важнейших инструментов проектирования культурного ландшафта, научного обеспечения оптимальной природно-хозяйственной организации ландшафтного пространства на принципах геоэкологической адаптивности [Николаев, 2013].

В ландшафтоведении и физической географии всё чаще употребляются термины «оптимизация ландшафтов», «оптимальное управление природопользованием», мягко говоря, не обоснованно. Например, в работах, опубликованных в материалах научных конференций последних лет [Ашихмина и др., 2013; Жумарь, Таранчук, 2012; Михно и др., 2013;

Помазкова, 2011], не удалось обнаружить содержательное представление о задачах оптимизации. Приведем лишь несколько цитат (краткая выборка из работ, в названии которых имеется термин «оптимизация»): «...исследуя проблему оптимизации засоленных земель с точки зрения физиологических основ ассимиляции хлора и калия, установили, что поглощение хлора растениями увеличивается по мере сдвига рН» [Жумарь, Таранчук, 2012]; «Предложения по оптимизации структуры природопользования на данной территории ООПТ касаются изменений общей структуры в сторону увеличения доли рекреационного использования территории...» [Помазкова, 2011]; «Оптимизация структуры размещения полигонов ТБО в Воронежской области...» [Ашихмина и др., 2013]; «Проблемы рациональной организации и оптимизации ландшафтов Центрального Черноземья...» [Михно и др., 2013] и т.д. В связи с этим возникают опасения, что понятия «оптимизация», «оптимальное управление» и математический аппарат, связанный с ними, будут размыты и выхолощены еще до их содержательного использования в географии.

Анализ любого определения показывает, что можно говорить об оптимальности лишь природно-антропогенных и культурных ландшафтов, причем *оптимизировать можно только то, что связано с деятельностью человека, т.е. процессы природопользования*. После выбора процесса необходимо поставить конкретные цели – максимум продукции, максимум прибыли, улучшение состояния окружающей среды, отсутствие противоречий социально-экономической системе и т.д. Понятно, что цели могут быть несовместимы, мало того, надо вводить ограничения на возможность оптимизации, так как количество и скорость изъятия используемых ресурсов, их пространственное распределение могут оказаться весьма ограниченными.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: v.v.sss@mail.ru

Теории оптимизации и оптимального управления жестко связаны с экономико-математическими теориями и служат действенным инструментом современной экономической науки. Их содержательное и корректное использование в ландшафтном планировании и природопользовании будет способствовать синтезу физической и экономической географии, который «... наверняка станет новой парадигмой современной университетской географии» [Симонов, 2013].

В соответствии с основными видами природопользования среди природно-антропогенных обоснованно выделяются ландшафты: «... целенаправленно созданные, антропогенно регулируемые: 1) сельскохозяйственные, 2) лесохозяйственные, 3) водохозяйственные...» [Николаев и др., 2008]. В целях планирования многоцелевого землепользования широко используется генетический алгоритм пространственной оптимизации угодий. Генетический алгоритм (ГА) впервые использован Дж. Холландом в 1975 г. – алгоритм оптимизации на основе механизма естественного отбора. В значительном числе исследований показано, что ГА – эффективный способ решения пространственной оптимизации многоцелевого землепользования [Cao et al., 2011; Stewart et al., 2004; Yeo et al., 2004]. На одном из этапов алгоритмы ГА, оценивая пригодность и экономичность использования угодий (леса, сады, пастбища, поля и др.) для каждого из множества окружающих местоположений (пикселей, или паттернов), способствуют переходу землепользования на них к типу, соответствующему максимизации производственного потенциала земель. Могут быть использованы различные правила пригодности, а также правила соседства для рассмотрения совместимости и структуры буферных зон, направленные на улучшение совместимости и компактности в результате выделения. На основе совмещения модели оптимизации структуры землепользования и распределенной модели гидрологического стока разработана методология планирования снижения загрязнений водоемов от площадных (неточечных, сельскохозяйственных) источников [Yeo et al., 2004].

Вследствие длительности процессов лесовозобновления, изменяющейся структуры лесопользова-

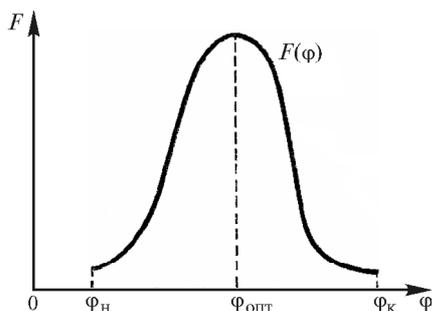


Рис. 1. Пример графика одномерной целевой функции. Пояснения см. в тексте

ния и конъюнктуры в отрасли оценка пригодности лесных земель представляет собой сложную процедуру. Ранее автор статьи с коллегами показали возможности применения ландшафтного планирования устойчивого лесопользования на основе теории геосистем и моделирования разных сценариев использования леса [Сысуев и др., 2010]. Здесь рассмотрена постановка некоторых задач рационального лесопользования на основе теории оптимизации и оптимального управления.

**Материалы и методы исследований.** Проблемы планирования и устойчивого природопользования и задачи условной оптимизации предполагают наличие одинаковых предпосылок: имеется цель, которую нужно достичь, учитывая всевозможные ограничения. Аппаратом решения этих проблем является теория оптимизации (оптимального управления). Для решения задачи оптимизации необходимо: 1) составить *математическую модель* объекта; 2) выбрать критерий оптимальности и составить *целевую функцию*; 3) установить *ограничения*, накладываемые на переменные; 4) выбрать *метод оптимизации* для нахождения экстремальных значений искомого величин.

В задачах оптимизации рассматриваемые варианты должны быть численно сравнимы. Каждому варианту надо сопоставить число – критерий оптимальности, тогда с помощью компьютера можно выбрать наилучший вариант. Обозначим множество всех вариантов  $X$ , а его элементы –  $x$ . Сопоставив каждому варианту  $x$  из множества  $X$  число – критерий оптимальности, получим функцию  $F(x)$ , определенную в области  $X$ . Эта функция, показывающая «качество» выбираемых вариантов, – *целевая функция*, а область  $X$  – *допустимая область*. Задача оптимизации – поиск минимума (максимума) целевой функции:

$$F(x) \rightarrow \min_{x \in X}. \quad (1)$$

Задача минимизации равносильна задаче максимизации с отрицательной целевой функцией, т.е.  $-F(x)$ . Смысл введенных определений легко пояснить на простейшем примере: настраивая радиоприемник, мы добиваемся максимальной громкости некоторой радиостанции. Допустимая область  $X$  – интервал угла  $\varphi$  поворота ручки настройки между начальным  $\varphi_n$  и конечным значениями  $\varphi_k$ . Целевая функция – зависимость громкости  $F$  от угла  $\varphi$ . Путем измерений получим значения целевой функции  $F(\varphi)$  и начертим ее график (рис. 1). На графике видно, что наибольшему значению целевой функции соответствует оптимальный угол ( $\varphi_{\text{опт}}$ ). Теперь можно составить математическое выражение целевой функции  $F(\varphi)$ . График такой функции должен достаточно хорошо совпасть с экспериментальной кривой. Математические выражения этих функций, или алгоритм их вычисления, называют математической моделью. Допустимая область ограничена про-

стыми ограничениями:  $\varphi_n \leq \varphi \leq \varphi_k$ . Но в практических задачах целевая функция зависит от большого числа переменных, определение значений  $F(x)$  весьма трудоемко, а допустимая область – сложная конструкция в многомерном пространстве, порожденная системами нелинейных ограничений.

**Результаты исследований и их обсуждение.**

В качестве примеров задач оптимизации лесопользования рассмотрим сначала задачу **оптимизации породного состава древостоев** [Нестеров, 1970]. Постановка задачи аналогична классическому примеру задачи оптимизации дохода при использовании ограниченных ресурсов сырья для изготовления определенных видов продукции. Каждый тип условий местообитания (ТУМ) с учетом климата характеризуется своим набором ресурсов ( $p$ ) – солнечной радиации, тепла, воды, элементов питания в почвах, который используется при создании биомассы древостоев. Если исходить из конечного результата – *максимального прироста древостоя*, надо взять показатели насаждения в возрасте количественной спелости и для него определить оптимальный состав, дающий наивысшую продуктивность или выполняющий наилучшим образом специфическую функцию. Для определения насаждения, наилучшим образом использующего потенциал ресурсов местопроизрастания, используется метод линейного программирования, созданный Л. Канторовичем в начале прошлого века, т.е. найти экстремум целевой функции

$$F = \sum_{j=1}^n c_j x_j \Rightarrow \max (\min), \quad x_j \geq 0, j, \dots, n, \quad (2)$$

при условиях: 1) использования имеющихся природных ресурсов

$$\sum_{o=1}^m a_{pj} x_j \leq b_p; \quad (3)$$

2) неотрицательности переменных; где  $c_j$  – прирост  $j$ -й породы в возрасте количественной спелости;  $x_j$  – доля участия  $j$ -й породы в данных условиях местопроизрастания;  $a_{pj}$  – норма потребности  $j$ -й породы в  $p$ -м ресурсе;  $b_p$  – количество имеющихся  $p$ -х ресурсов ( $b_1$  – солнечная радиация,  $b_2$  – вода,  $b_3$  – азот и т.д.).

Ресурсы солнечной радиации, элементов питания или почвенной влаги не могут быть бесконечны – ограничения на условия оптимизации в простом виде задаются из физико-географических характеристик. Матрицы коэффициентов  $a_{pj}$  – нормы потребления обобщенных ресурсов строятся на основе таблиц хода роста, лесотаксационных материалах и данных реальных физико-химических ресурсов, доступных в конкретных типах местообитания. Значения биоэкологических коэффициентов  $a_{pj}$  и коэффициентов  $c_j$  функционала максимальной продуктивности для оптимизации древесных пород на дерново-среднеподзолистых почвах на покровных суглинках приведены в таблице. При решении задачи (2)–(3) с условиями и коэффициентами функционала цели «достижение максимального прироста» получена продуктивность 19,3 м<sup>3</sup>/га в год при оптимальном составе древостоя 85% ели и 15% осины. Решение задачи на максимальный доход дало максимальную валовую продукцию на 77,8 у.е. при наличии состава древостоя 94,5% ели и 5,5% дуба. Расчеты для

**Фрагмент матрицы биоэкологических коэффициентов  $a_{pj}$  и коэффициентов функционала максимальной продуктивности для оптимизации древесных пород на дерново-среднеподзолистых почвах на покровных суглинках, по [Нестеров, 1970]**

Наименования ресурсов и условий	Древесные породы (переменные)							Ограничения, $b_p$
	сосна, $x_1$	ель, $x_2$	береза, $x_3$	дуб, $x_4$	осина, $x_5$	липа, $x_6$	лиственница, $x_7$	
1   Солнечная радиация	6,8	3,1	7,2	28,8	2,9	8,7	8,4	$\leq 82$
2   Доступная влага	31,5	13,0	54,1	78,4	30,0	55,4	22,7	$\leq 300$
3   Азот	3,7	2,1	7,2	9,4	3,8	8,2	2,7	$\leq 46,4$
4   Фосфор	1,3	1,1	1,9	2,0	1,0	1,1	2,4	$\leq 21,0$
5   Калий	2,4	1,8	3,4	6,2	2,2	4,8	1,7	$\leq 49,8$
6   Себестоимость лесных культур	1,3	1,3	1,0	2,0	0,9	1,0	1,3	$\leq 20$
7   Энтомоустойчивость	1,0	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,9	$\geq 5,2$
8   Пожароустойчивость	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	$\geq 4,2$
9   Газоустойчивость	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	$\geq 1,8$
10   Фитонцидность	3,2	3,0	5,0	4,0	3,0	5,5	5,5	$\geq 18$
11   Ландшафтно-эстетические свойства	4,5	4,0	4,5	4,0	3,0	4,0	4,5	$\geq 24$
Коэффициенты $c_j$ функционала максимального прироста	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Коэффициенты $c_j$ функционала максимума валовой продукции	4,0	4,0	2,6	8,8	2,0	2,0	4,0	

других местообитаний также показали существенное превышение продуктивности над реальным уровнем, однако оптимальный состав древостоев всегда правильно учитывал условия произрастания древостоев [Нестеров, 1970]. Дополнение таблицы соответствующими коэффициентами и ограничениями (строки 7–11) позволяет оптимизировать специфические функции цели – фитонцидную, рекреационную, воздухоочистную и др.

После выбора главных пород необходимо выбрать управляющие мероприятия, направленные на лесовозобновление и выращивание древостоев оптимального состава: содействие естественному возобновлению, лесные культуры, рубки ухода в молодняках, реконструкция молодняков и др.

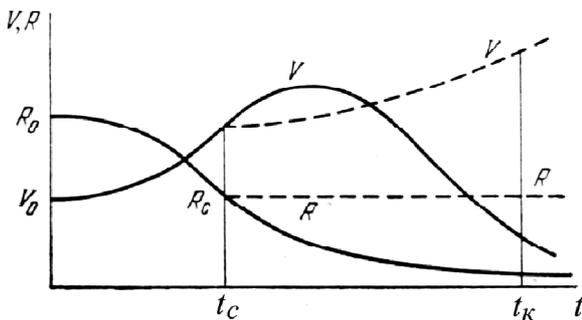


Рис. 2. Иллюстрация к нахождению оптимального решения (оптимальной траектории) на графиках решения уравнений (4) и (5), по [Модели..., 1981]. Стабилизированный запас  $R_c$  сохраняется за счет эффективности лесонасаждений и оптимизации интенсивности рубок

**Постановка задачи оптимального управления лесопользованием.** Фундаментальное понятие, относящееся к любой системе, – *состояние системы*. Предполагается, что система (точнее динамическая система) в каждый момент времени может пребывать в одном из некоторого числа возможных состояний. Смена состояний системы с течением времени и составляет ее развитие или функционирование. Предполагается, что состояние динамической системы в каждый момент времени может быть однозначно описано конечным набором  $n$  числовых параметров или функций состояния. Управление – воздействие, способное изменить текущее состояние, т.е. все последующее развитие системы. На функционирование сложных систем (таких, как геосистемы) воздействуют очень многие факторы, и управление – лишь одно из множества имеющихся воздействий.

Постановка задачи оптимального управления включает систему дифференциальных уравнений, описывающих функционирование объекта во времени, и критерий оптимальности (функционал), который следует минимизировать, выбирая управляющие переменные. Решением задачи оптимального управления является оптимальный процесс, т.е. соответствующая ему оптимальная траектория системы во времени.

Задачи оптимального управления лесопользованием приведены в работах [Андреева, Шилова, 2014; Модели..., 1981; Москаленко, 1983]. Рассмотрим сначала простейшую модель [Модели..., 1981]. Обозначим  $V$  – мощность лесоперерабатывающего предприятия,  $R$  – запас леса на выделенной территории. Постоянную долю доходов предприятие тратит на рост производственной мощности, темп этого роста уменьшается с уменьшением запаса леса по закону  $a-g/R$ , где  $a$  – максимальный темп роста производственной мощности при неограниченном запасе леса  $R=\infty$ ,  $g$  – некоторая константа зависимости от ресурса. Это выражение отражает факт, что по мере уменьшения запаса леса производство переходит от лучших видов сырья к оставшимся с увеличением производственных затрат. Производственное потребление леса происходит с интенсивностью  $cV$ , которая значительно превосходит естественную скорость лесовосстановления, и последней можно пренебречь. Тогда динамика совокупной системы предприятие–ресурс описывается системой уравнений [Модели..., 1981]:

$$\begin{cases} \dot{V} = (a - g/R)V \\ \dot{R} = -cV \end{cases}, \quad (4)$$

с начальными условиями  $V(0) = V_0$ ,  $R(0) = R_0$ .

Решение этой системы в предположении, что начальный запас  $R_0$  достаточно велик, так что  $g/R \ll a$ , показано на рис. 2. Видно, что на некотором начальном этапе запас  $R$  практически не меняется, а мощность предприятия растет почти экспоненциально. Однако по мере истощения ресурса второе уравнение все больше влияет на поведение системы, которое приобретает кризисный характер, – мощность  $V$  переходит через максимум и резко снижается. Такая тенденция сохраняется при любых значениях констант. Чтобы избежать кризиса, можно идти двумя путями: 1) уменьшить темп роста, т.е. отсрочить кризис до какого-то отдаленного времени  $t_k$ ; 2) активно восстанавливать лес путем посадки насаждений и ухода за ними, затрачивая на это определенную долю средств, что приведет к снижению роста производства на величину  $u$ . Скорость восстановления леса считаем пропорциональной  $u$  с коэффициентом  $\alpha$  (эффективность затрат). Предположим, что  $u$  удастся задать так, что запас стабилизируется:  $\dot{R} = 0$  на некотором уровне  $R_c$ . Тогда

$$\dot{V} = ((a - g/R_c) - (c/\alpha))V, \quad u = (c/\alpha)V, \quad (5)$$

и мощность  $V$  будет меняться по экспоненте, которая тем круче, чем выше темп идеального роста ( $a$ ), стабилизированный запас ( $R_c$ ) и эффективность лесонасаждений ( $\alpha$ ). Таким образом, оптимальное управление лесопользованием, складывающееся из управления лесовозобновлением и производством, приводит к качественно иному оптимальному пове-

дению (оптимальной траектории) системы предприятие–лес в целом в течение длительного времени. В реальности эта схема осложнена множеством ограничений.

Модель динамики приангарской темнохвойной тайги, описывающая изменение со временем площадей  $S_i$ , занятых  $i$ -м типом леса, с учетом естественных сукцессий и режима эксплуатации с членами управления приведена в [Модели..., 1981]:

$$\dot{S} = \sum_j \alpha_{ji} S_j - \sum_j \alpha_{ji} - u_i - u_{Ni} - u_{pi}, \quad (6)$$

где  $\alpha_{ji}$  – интенсивность перехода из  $j$ -го состояния в  $i$ -е состояние (тип леса) определяется по времени  $\Delta\tau_{ji}$ , которое необходимо для смены типа леса и связано с временем жизни типоморфных пород:  $\alpha_{ji} = (\Delta\tau_{ji})^{-1}$ ;  $u_i, u_{Ni}$  – интенсивность изменения площади вырубке и потери лесных площадей в результате пожаров соответственно;  $u_v, u_p$  – интенсивность потери лесной площади на расширение мощности предприятия (в том числе дорог) и на расширение поселков и подсобных хозяйств соответственно.

Управлению подлежат:  $V$  – мощность лесозаготовительного предприятия,  $v$  – выпуск продукции,  $u_i$  – площадь, вырубаемая в каждом типе леса. В функцию цели кроме стоимости  $\gamma'$  древостоев, вырубаемых с площади  $u$ , входят потери прибыли на увеличение мощности предприятия  $u_v$  и на штрафы за нарушение экологических условий (равновесия)  $\beta|S - S^*|^2$ .

Для вырубке только плакорных коренных пихтовых лесов ( $u$  скалярно) в матричном виде задача оптимального управления сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= AS - Bu - DSV - LSu_v, \\ \dot{V} &= u_v, \\ V(0) &= V_0, \quad S(0) = S_0, \quad S(t) \geq 0, \\ 0 &\leq \sum_i u_i w_i \leq V, \quad u_v \geq 0, \\ I_1 &= \int_0^T (\gamma'u - bu_v - cV - \beta|S - S^*|^2) dt \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (7)$$

Задача (7) решалась численными методами с использованием эмпирических материалов Института географии имени В.Б. Сочавы СО РАН [Модели..., 1981], на основе которых построены матрицы коэффициентов  $A, B, D, L$ , и заданы начальные условия.

Ряд численных экспериментов позволил получить содержательные результаты. Например, расчеты при отсутствии штрафов за нарушения природной среды ( $\beta=0$ ) в задаче с длительным плани-

рованием ( $T=200$  лет) показали, что оптимальная интенсивность рубки уменьшается в 2 раза по сравнению с краткосрочным планированием на 50 лет. При этом площадь, занимаемая коренными лесами (осиново-пихтовыми и пихтовыми), оказалась в 2,5 раза больше. Кроме того, при длительном планировании существенно больше разнообразие типов леса (рис. 3). Таким образом, оптимальное использование ресурса в расчете на длительную перспективу (т.е. устойчивое природопользование) даже при чисто экономическом критерии оптимальности требует гораздо более бережного отношения к лесу, чем кратковременная политика.

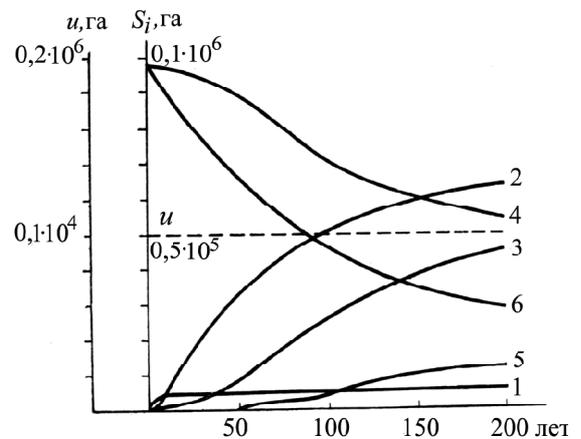


Рис. 3. Долгосрочное прогнозирование изменения лесных площадей в ландшафтах плакорного ряда (приангарская темнохвойная тайга) при рубках оптимальной интенсивности с экономическим критерием оптимальности, по [Модели..., 1981]: 1 – вырубка, гарь; 2 – осиновые леса; 3 – пихтово-осиновый лес; 4 – коренной осиново-пихтовый лес; 5 – молодой осиново-пихтовый лес; 6 – коренной пихтовый лес

В соответствии с этим задачи оптимального управления с «закрепленными концами», с «бесконечным горизонтом» управления или с «подвижными концами» имеют различия в математической постановке и методах решения [Ногин, 2008].

Использование трех временных состояний равномерно распределенных деревьев (число молодых –  $x$ , средневозрастных –  $y$  и спелых –  $z$ ) позволило описать развитие смешанного разновозрастного древостоя на однородной территории системой обыкновенных дифференциальных уравнений [Андреева, Шилова, 2014]:

$$\begin{cases} \dot{x} = p(y, z) - \gamma(z)x - fx, \\ \dot{y} = fx - (q + d)y - u_1, \\ \dot{z} = qy - hz - u_2, \end{cases} \quad (8)$$

с краевыми условиями:

$$\begin{aligned} x(0) &= X_0, \quad y(0) = Y_0, \quad z(0) = Z_0; \\ x(T) &\geq X_T, \quad y(T) \geq Y_T, \quad z(T) \geq Z_T. \end{aligned}$$

Постановка задачи (8) выполнена в терминах моделей популяционной динамики с сосредоточенными параметрами:  $p(y, z)$  – функция, характеризующая скорость рождения деревьев младшего возраста;  $\gamma(z)x$  – функция гибели подростка, описывает интенсивность его гибели под воздействием старшей возрастной группы и в результате естественной гибели подростка;  $f > 0$ ,  $q > 0$  – коэффициенты интенсивности перехода деревьев 1-й группы во 2-ю, и 2-й – в 3-ю соответственно;  $d$ ,  $h$  – коэффициенты гибели деревьев 2-й и 3-й возрастных групп. Управление моделируется скоростью выборочных равномерных рубок деревьев, достигших возраста спелости  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ :

$$\begin{aligned} 0 \leq u_k(t) \leq \alpha_k, \quad k = 1, 2, t \in [0, T]; \\ 0 \leq \sum_{k=1}^2 u_k(t) \leq \alpha_k, \quad t \in [0, T]. \end{aligned} \quad (9)$$

Цель управления – максимизация функционала  $J(u)$  – прибыль, полученная от реализации вырубленного леса:

$$\begin{aligned} J(u) = \int_0^T \sum_{i=1}^2 [\rho_i(y, z) - c_i(y, z)] u_i dt + b_1 y(T) + \\ + b_2 z(T) \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\rho_i(y, z)$ ,  $i=1, 2$  – невозрастающая функция стоимости продаваемого леса;  $c_i$  – стоимость технологии добычи леса;  $b_1$ ,  $b_2$  – стоимость оставшегося леса среднего и старшего возраста соответственно.

Для решения задачи оптимального управления используется принцип максимума Л.С. Понтрягина,

в построении которого участвуют сопряженные переменные, функции специального вида (гамильтониан  $H$ ) и функции переключения. Подробные методы построения, содержательный смысл принципа максимума, а также численные методы решения задач оптимального управления можно найти в многочисленных публикациях разной степени фундаментальности [Андреева, Шилова, 2014; Ногин, 2008].

Более сложная модель динамики древостоя с распределенными в пространстве параметрами используется для формулирования задачи оптимального управления лесопользованием в работах [Модели..., 1981; Москаленко, 1983]. В последней работе развиваются методы нелинейных отображений для сведения исходной задачи оптимального управления к более простой.

#### Выводы:

– в целях однозначного междисциплинарного понимания задач устойчивого природопользования необходимо прекратить некорректное или необоснованное использование в ландшафтоведении (и географии в целом) понятий теории оптимизации;

– краткий анализ постановки и решения ряда задач оптимизации лесопользования показывает, что этот опыт можно применять для формулирования оптимального управления землепользованием, водопользованием и в целом для задач ландшафтного планирования;

– применение методов теории оптимизации, жестко связанных с современной экономической наукой, открывает новые перспективы развития и практического применения ландшафтного планирования и природопользования, синтеза физической и экономической географии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ REFERENCES

Андреева Е.А., Шилова Н.А. Оптимальное управление биологическими сообществами: Учеб. пособие. Архангельск: ИД САФУ, 2014. 240 с.

Andreeva E.A., Shilova N.A. Optimal'noe upravlenie biologicheskimi soobshhestvami [Optimum control of biological communities]: Ucheb. posobie. Arhangel'sk: ID SAFU, 2014. 240 p. (in Russian).

Ашихмина Т.В., Овчинникова Т.В., Смольянинов В.М. Оптимизация структуры размещения полигонов ТБО в Воронежской области // Структурно-динамические особенности, современное состояние и проблемы оптимизации ландшафтов: Матлы Междунар. науч. конф., Воронеж, 15–17 мая 2013 г. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. С. 122–124.

Ashihmina T.V., Ovchinnikova T.V., Smol'janinov V.M. Optimizacija struktury razmeshhenija poligonov TBO v Voronezhskoj oblasti [Optimization structure of grounds household wastes placement in the Voronezh region]. Strukturno-dinamicheskie osobennosti, sovremennoe sostojanie i problemy optimizacii landshaftov: Mat-ly Mezhdunar. nauch. konf., Voronezh, 15–17 maja 2013. Voronezh: Izd-vo VGU, 2013, pp. 122–124 (in Russian).

ГОСТ Р ИСО 14031–2001 «Управление окружающей средой, оценивание экологической эффективности. Общие положения» М.: ГОССТАНДАРТ РФ, 2001. 26 с.

GOST RISO 14031–2001 «Upravlenie okružhajushhej sredoj, ocenivanie jekologicheskoj jeffektivnosti. Obshhie položenija» [Management of environment, estimation of ecological efficiency. General provisions], M.: GOSSTANDART RF, 2001. 26 p. (in Russian).

Жумарь П.В., Таранчук А.В. Способы геохимической оптимизации техногенных ландшафтов Солигорского горнопромышленного района // Геохимия ландшафтов и география почв: Докл. Всеросс. науч. конф., Москва, 4–6 апреля 2012. М., 2012. С. 122–124.

Zhumar' P.V., Taranchuk A.V. Sposoby geohimicheskoj optimizacii tehnogennyh landshaftov Soligorskogo gornopromyshlennogo rajona [Ways of geochemical optimization of technogenic landscapes of the Soligorsk mining area], Geohimija landshaftov i geografija pochv: Dokl. Vseross. nauch. konf., Moskva, 4–6 aprelja 2012. M.: 2012, pp. 122–124 (in Russian).

Михно В.К., Бевз В.Н., Быковская О.П., Горбунов А.С. Проблемы рациональной организации и оптимизации ландшафтов Центрального Черноземья // Структурно-динамические особенности, современное состояние и проблемы оптимизации ландшафтов: Мат-лы Междунар. науч. конф., Воронеж, 15–17 мая 2013 г. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. С. 248–258.

Mihno V.K., Bevez V.N., Bykovskaja O.P., Gorbunov A.S. Problemy racional'noj organizacii i optimizacii landshaftov Central'nogo Chernozem'ja [Problems of the rational organization and optimization of landscapes of the Central Chernozem region]. Strukturno-dinamicheskie osobennosti, sovremennoe sostojanie i problemy optimizacii landshaftov: Mat-ly Mezhdunar. nauch. konf., Voronezh, 15–17 maja 2013. Voronezh: Izd-vo VGU, 2013, pp. 248–258 (in Russian).

Модели управления природными ресурсами. М.: Наука, 1981. 264 с.

Modeli upravlenija prirodnyimi resursami [Models of management of natural resources], M.: Nauka, 1981. 264 p. (in Russian).

Москаленко А.И. Методы нелинейных отражений в оптимальном управлении. Новосибирск: Наука, 1983. 223 с.

Moskalenko A.I. Metody nelinejnyh otrazhenij v optimal'nom upravlenii [Methods of nonlinear reflections in optimum control], Novosibirsk: Nauka, 1983. 223 p. (in Russian).

Нестеров В.Г. Опыт применения оптимального программирования в лесном хозяйстве. М.: Лесная промышленность, 1970. 47 с.

Nesterov V.G. Opyt primenenija optimal'nogo programmirovaniya v lesnom hozjajstve [Experience of application of optimum programming in forestry], M.: Lesnaja promyshlennost', 1970. 47 p. (in Russian).

Николаев В.А. Ландшафтная стратегия земной цивилизации на пути к устойчивому развитию // Структурно-динамические особенности, современное состояние и проблемы оптимизации ландшафтов: Мат-лы Междунар. науч. конф., Воронеж, 15–17 мая 2013 г. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. С. 284–286.

Nikolaev V.A. Landshaftnaja strategija zemnoj civilizacii na puti k ustojchivomu razvitiyu [Landscape strategy of a terrestrial civilization on the way to a sustainable development]. Strukturno-dinamicheskie osobennosti, sovremennoe sostojanie i problemy optimizacii landshaftov: Mat-ly Mezhdunar. nauch. konf., Voronezh, 15–17 maja 2013 g. Voronezh: Izd-vo VGU, 2013, pp. 284–286 (in Russian).

Николаев В.А., Копыл И.В., Сысоев В.В. Природно-антропогенные ландшафты. Сельскохозяйственные и лесохозяйственные ландшафты: Учеб. пособие. М., 2008. 160 с.

Nikolaev V.A., Kopyl I.V., Sysuev V.V. Prirodno-antropogennye landshafty. Sel'skhozjajstvennyye i les hozjajstvennyye landshafty [Natural and anthropogenous landscapes. Agricultural and

silvicultural landscapes]: Ucheb. posobie, M., 2008. 160 p. (in Russian).

Ногин В.Д. Введение в оптимальное управление. СПб.: Изд-во ИОТАС, 2008. 92 с.

Nogin V.D. Vvedenie v optimal'noe upravlenie [Introduction to optimum control], SPb.: Izd-vo JuTAS, 2008. 92 p. (in Russian).

Помазкова Н.В. Проблемы оптимизации природопользования на ООПТ регионального значения // Мат-лы XIV совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Владивосток, 14–16 сентября 2011 г. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 528–530.

Pomazkova N.V. Problemy optimizacii prirodopol'zovanija na OOPT regional'nogo znachenija [Problems of optimization of environmental management in especially protected natural territories of regional value]. Mat-ly XIV sov. geografov Sibiri i Dal'nego Vostoka. Vladivostok, 14–16 sentjabrja 2011, Vladivostok: Dal'nauka, 2011, pp. 528–530 (in Russian).

Проблемы оптимизации в экологии. М.: Наука, 1978. 326 с. Проблемы оптимизации в экологии [Optimization problems in ecology], M.: Nauka, 1978. 326 p. (in Russian).

Симонов Ю.Г. Рациональное природопользование и его место в парадигмах современной географии // Рациональное природопользование: традиции и инновации: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 23–24 ноября 2012 г. М., 2013. С. 4–7.

Simonov Ju.G. Racional'noe prirodopol'zovanie i ego mesto v paradigmah so-vremennoj geografii [Rational environmental management and its place in paradigms of modern geography]. Racional'noe prirodopol'zovanie: tradicii i innovacii: Mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Moskva, 23–24 nojabrja 2012 g., M., 2013, pp. 4–7 (in Russian).

Сысоев В.В., Бондарь Ю.Н., Чумаченко С.И. Моделирование структуры ландшафтов и динамики древостоев для планирования устойчивого лесопользования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 5. С. 39–49.

Sysuev V.V., Bondar' Ju.N., Chumachenko S.I. Modelirovanie struktury landshaftov i dinamiki drevostoev dlja planirovaniya ustojchivogo lesopol'zovanija [Modeling of structure of landscapes and dynamics of forest stands for planning of steady forest exploitation], Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija, 2010. no 5, pp. 39–49 (in Russian).

Cao K., Batty M., Huang B. et al. Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II. Intern. J. of Geograph. Inform. Sci. 2011. Vol. 25, no 2, pp. 1949–1969.

Stewart T.J., Janssen R., van Herwijnen M. A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning // Computers & Operations Res. 2004. Vol. 31, no 14, pp. 2293–2313.

Yeo I.-Y., Gordon S. I., Guldmann J.-M. Optimization patterns of land use to reduce peak runoff flow and nonpoint source pollution with an integrated hydrological and land-use model. Earth Interact. 2004. Vol. 8, no 6, pp. 1–20.

Поступила в редакцию  
09.04.2015

V.V. Sysuev

## TO THE «OPTIMIZATION» OF LANDSCAPES

Reasonable statement of problems related to the optimization and efficient nature management is opposed to the present-day trends of wide and wild application of the term «optimization» in the physical geography. Typical problems of the optimal forest management are discussed. Application of the optimization theory methods opens new prospects for the development and practical application of landscape planning and sustainable nature management, thus contributing to the synthesis of physical and economic geography.

*Keywords:* natural-anthropogenic landscapes, optimization, optimal management, forest management.