

Задача рациональной эксплуатации лесных ресурсов¹

Андропова А.А., Бадмацыренова С.Б., Батурич В.А.

Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск

E-mail: rozen@icc.ru

The dynamics taiga landscape control problem in Irkutsk region is considered. These problem solution algorithm of the first order improving method for discrete systems is reduced. The computing experiments are carried out.

Введение. Иркутская область является крупнейшим поставщиком деловой древесины. Поэтому задача определения оптимальной стратегии рубок, необходимых для экономического роста, с учетом обеспечения успешного возобновления лесонасаждений, является весьма актуальной. Решение этой проблемы невозможно без математических моделей, описывающих динамику лесонасаждений и задач управления, в частности оптимального.

В работе используются результаты исследования задачи оптимального управления таежного ландшафта для непрерывного случая. Предлагается модель динамики лесного массива, состоящего из семи характерных для южной тайги пород: пихты, кедра, ели, сосны, лиственницы, березы и осины. Учитываются процессы: возобновление, рост, отмирание и хозяйственная деятельность человека. Целью работы является постановка задачи оптимального управления лесными ресурсами для дискретных систем и ее дальнейшее изучение.

1. Уравнения математической модели. При моделировании развития растительности значительных территорий приходится абстрагироваться от процессов, протекающих в отдельных сообществах и подразделять множества типов на укрупненные единицы.

Математическую модель динамики таежного ландшафта будем описывать изменение во времени площади S_i , занятой i -ым типом леса, t – время, tt – единица измерения времени, один год. Уравнения имеют вид:

$$S_i(t+1) = S_i(t) + \sum_j \alpha_{ji} S_j - \sum_j \alpha_{ij} S_i,$$

где α_{ij} - интенсивность перехода площади из j -го состояния в i -ое состояние.

Вырубка части лесов в значительной степени изменяет динамику пространственной структуры ландшафта. Вводятся добавочные члены, отражающие интенсивность рубок, т.е. переход части коренных лесов в вырубки.

Пусть V - мощность лесозаготовительного предприятия района, u_i - площадь, вырубаемая в каждом типе лесонасаждений ландшафта в единицу времени, ($0 \leq u_i \leq S_i$), u_v – ежегодные затраты лесной площади на расширение мощностей предприятия. Учитывается также непроизводительное сведение лесов в результате пожаров и затраты на расширение мощностей предприятия (строительство дорог, построек и т.д.).

Итак, математическая модель динамики таежного ландшафта имеет вид:

$$V(t+1) = V(t) + u_v(t),$$

$$S(t+1) = S(t) + AS(t) - Bu(t) - DS(t)V(t) - LS(t)u_v(t),$$

где элементы матрицы A имеют смысл восстановления и интенсивностей перехода из одной стадии в другую площадей, занятых определенным типом леса, элементы матрицы

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 08-01-00156-а, РФФИ ОФИ, грант № 07-06-12023, РГНФ, грант № 06-02-00055, Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 40

V - затраты площади на вырубку лесонасаждений и формирование искусственных лесопосадок, элементы матрицы P - затраты лесной площади в результате пожаров, элементы матрицы L - затраты лесной площади на расширение производства. Вектор S_i размерности 35 имеет смысл площади лесонасаждений (га), вектор u_i размерности 14 – управление, $u_i, i = \overline{1,7}$ – площадь, засаживаемая искусственными лесонасаждениями в единицу времени (га/год), $u_i, i = \overline{8,14}$ – объем древесины, вырубаемый в каждой из семи пород леса в единицу времени (m^3 /год).

2. Идентификация модели. Изучение структуры и динамики темнохвойной тайги позволяет выделить 35 типов леса, различающихся между собой по видовой структуре и группам возраста. Видовая структура: сосна, лиственница, ель, пихта, кедр, береза, осина. Группы возраста: молодняки и средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные. Кроме того учитывается непокрытая лесом площадь и несомкнувшиеся культуры.

Бирюсинский леспромхоз объединения Тайшетлес входит в Шиткинский район Иркутской области. Он характеризуется преобладанием на своей территории хвойных пород. Покрытая лесом площадь составляет 674 650га, из них 460 761га – площадь, занятая хвойными, и 213 889га – площадь, занятая лиственными культурами. Как уже отмечалось выше, в данной работе, для построения математической модели динамики леса выделено семь основных пород леса. Это: сосна, ель, пихта, лиственница, кедр – хвойные; береза и осина – лиственные. Для Бирюсинского леспромхоза начальное состояние является таким: сосна – 251 644га, ель – 77 584га, пихта – 37 780га, лиственница – 83 656га, кедр – 10 097га, береза – 49 624га. Эта информация использовалась в работе как начальное состояние на $S(S_0)$. Кроме того приведено начальное состояние по возрастам. Средний запас на га по леспромхозу составляет 235,0938 (m^3 /га).

Для подсчета функционала I необходимо знать значение коэффициентов $\gamma_i, i = \overline{1,14}, b, c, \beta_i, i = \overline{1,35}, \gamma_i, i = \overline{1,14}$ имеет смысл дохода от реализации i -го типа леса, вырубленного с единицы площади. Но так как семь первых управлений есть управления на искусственные лесопосадки, то $\gamma_i, i = \overline{1,7}$ имеет смысл затрат на формирование 1 га лесных культур.

Коэффициент b имеет смысл показателя фондоотдачи по лесхозу (т.е. стоимость основных фондов, объем заготовленной древесины). Коэффициент b подсчитывался не по Бирюсинскому леспромхозу, а по объединению Тайшетлес, в которое входит Бирюсинский леспромхоз, т.к. фондоотдача для каждого леспромхоза объединения в среднем одна и та же.

Коэффициент c отражает эксплуатационные и непроизводственные расходы. Имеет смысл затрат на производство единицы продукции за исключением расходов на амортизацию основных фондов производства и вычисляется:

$$c = \frac{u-z}{y}, \quad u - \text{полная себестоимость товарной продукции, } z - \text{амортизационные}$$

отчисления на полное восстановление, y - объем лесозаготовок.

3. Постановка задачи оптимального управления. Возрастание интенсивности рубок коренных древостоев приводит к резкому возрастанию объема лесозаготовок. Но мы не можем до бесконечности увеличивать интенсивность рубок. Существуют ограничения естественного и производственного характера. Лес – это трудно восполнимое богатство нашей страны и распоряжаться им надо с большой осторожностью, извлекая, тем не менее, максимум прибыли из его эксплуатации. Все это делает необходимым

постановку и решение задачи оптимального управления лесными ресурсами таежного ландшафта с учетом хозяйственной деятельности человека, которая имеет вид:

$$V(t+1) = V(t) + u_v(t),$$

$$S(t+1) = S(t) + AS(t) - Bu(t) - DS(t)V(t) - LS(t)u_v(t),$$

$$V(0) = V_0, S(0) = S_0, S(t) > 0,$$

$$0 \leq u_i w_i \leq V, u_v \geq 0,$$

$$I = \sum_{t=0}^{T-1} (\gamma u - bu_v - cV - \beta |S - S^*|^2), \quad \text{где } T - \text{ заданный период}$$

планирования.

Функционал $I_1 = \sum_{t=0}^{T-1} (\gamma u - bu_v - cV)$ имеет смысл чистой прибыли предприятия за время T , а слагаемое $\sum_{t=0}^{T-1} \beta |S - S^*|^2$ имеет смысл штрафа за нарушение экологического равновесия, β - штрафной коэффициент, S^* - естественное состояние леса.

4. Численные эксперименты с моделью. Для решения задачи оптимального управления применялся метод проекции первого порядка [2], аналог метода проекции градиента для дискретных систем.

Идентификация модели осуществлялась применительно к таежному лесу Бирюсинского леспромхоза объединения Тайшетлес Иркутской области. Предполагается, что рубятся только коренные леса (7 типов) и искусственно возобновляются только сосна, однако, при построении модели учитывалось, что можно рубить не только коренные леса, но и леса промежуточного возраста, и делать искусственные лесопосадки не только сосны, но и других пород.

За начальное приближение была взята нулевая интенсивность лесозаготовок и лесопосадок. Мощность леспромхоза на начальном приближении оставалась постоянной (неразвивающееся предприятие). На рисунках представлена динамика древостоя на начальном приближении в сравнении с приближенно-оптимальным решением.

На приближенном решении задачи мощность леспромхоза развивается, лесозаготовки пропорциональны мощности и осуществляются интенсивные лесопосадки. За счет последнего удается поддержать хорошую экологическую картину леса.

5. Результаты численного расчета. Мощность леспромхоза на начальном приближении оставалась постоянной (неразвивающееся предприятие). Алгоритмом улучшения сделано 10 итераций. При этом значение функционала увеличилось с -161 150 до 15 788 800.

Промышленные запасы кедра снижаются, к середине планируемого периода они составляют почти треть начального состояния, а еще через 50 лет падают в шесть раз. Состояние сосны такого, что после десять лет эксплуатации площадей, занятых под спелыми и перестойными породами, практически не остается. Благоприятно обстоят дела с промышленными запасами лиственницы, которые остаются практически на уровне начального состояния. Запасы ели, так же как и кедра, к концу планируемого периода значительно снижаются, та же картина происходит с запасами березы и осины. Площадь, занятая спелым древостоем пихты, несколько возрастает к концу планируемого периода. Из сделанного прогноза следует, что надо снизить интенсивность лесозаготовок в Бирюсинском леспромхозе по березе, осине, кедру, сосне, если и можно увеличить, то по пихте и лиственнице.

Видно, что на приближенном решении задачи мощность леспромхоза развивается, лесозаготовки пропорциональны мощности и осуществляются интенсивные лесопосадки. За счет последнего удается поддержать хорошую экологическую картину леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модели управления природными ресурсами / ред. Гурмана В.И./ М.: Наука, 1981. 204 с.
2. Приближенные методы оптимального управления. /Батурин В.А., Урбанович Д.Е./-Новосибирск: Наука, 1997. 172 с.