

# **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОБЛИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА "КЕДРОВАЯ ПАДЬ"**

А.Н. ЯКОВЛЕВА<sup>1,2</sup>, А.М. ОМЕЛЬКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Биолого-почвенный институт дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток  
anyakovleva@mail.ru

Спрогнозирована пространственная структура потенциальной лесной растительности территории Государственного природного биосферного заповедника "Кедровая падь" (Приморский край), что позволило установить характер пространственного распределения растительных сообществ и построить карты потенциальной растительности. Моделирование основано на установлении связей между признаками растительного покрова и факторами местопроизрастания, а также топографическими переменными, полученными на основе цифровой модели рельефа. Выделены основные топографические переменные и связанные с ними экологические факторы, обуславливающие картину растительного покрова исследуемой территории.

## **THE RECONSTRUCTION OF PLANT COVER IMAGE IN VIOLATION TERRITORIES AN BIOSPHERE RESERVE «KEDROVAYA PAD» EXAMPLE**

A.N. YAKOVLEVA<sup>1,2</sup>, A.O. OMEJKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok  
anyakovleva@mail.ru

Based on use of digital elevation model we predicted potential spatial structure of forest vegetation for the State Nature Biosphere Reserve "Kedrovaya Pad" territory (Primorsky krai). This allowed establishing pattern of the spatial distribution of plant communities of different classification units and creating maps of potential vegetation. The modeling is based on establishment of relationships between features of vegetation and habitat factors, as well as topographic variables derived from digital elevation model. The basic topographic variables and related environmental factors that contribute to a picture of vegetation study area are identified.

Изучение естественных закономерностей пространственного распределения растительности целесообразно проводить на территориях, где сохранились участки ненарушенных лесов, в первую очередь это заповедники и другие особо-охраняемые природные территории. Возросшая в последнее время доступность и обилие данных об окружающей среде, в первую очередь данных дистанционного зондирования Земли, компьютерные базы данных растительности, а также современные вычислительные и информационные технологии открывают новые возможности для построения прогнозных пространственных моделей распределения потенциальной растительности и построения геоботанических карт актуальной растительности. Карта потенциальной растительности отражает картину распределения естественной коренной растительности, существовавшую в данных природных условиях до начала интенсивного освоения данной территории [4].

Цель работы: создание карт потенциальной растительности с использованием статистического моделирования взаимосвязи разных типов растительных сообществ Южного Сихотэ-Алиня с топографическими переменными, полученными на основе цифровой модели местности и обуславливающих картину растительного покрова, на примере территории Государственного природного заповедника «Кедровая падь».

Заповедник «Кедровая Падь» - самый южный сухопутный дальневосточный заповедник, расположен в Хасанском районе Приморского края, в 2 км от западного побережья Амурского залива. Географические координаты: 131°24'-131°36' в.д. и 43°01'-

43°09' с.ш. Растительный покров заповедника подвергся сильному антропогенному воздействию. До начала XX века это были вырубки, связанные с золотыми приисками, затем периодические весенние и осенние пожары, приходившие с южной и северной границ заповедника. Поэтому в настоящее время растительный покров заповедника в значительной мере утратил свой естественный облик. Анализ космоснимков и маршрутные обследования показали, что малонарушенные и ненарушенные леса сохранились только в центральной части заповедника, преимущественно на северных (более влажных и потому меньше подверженных выгоранию) склонах и в долине р. Кедровая. В их числе - чернопихтово-широколиственные и кедрово-широколиственные леса, основными лесобразующими породами которых являются пихта цельнолистная (черная) *Abies holophylla* и сосна кедровая корейская («кедр») *Pinus koraiensis*. В настоящее время эти древние леса сохранились только на территории заповедника. Большую же часть территории занимают устойчиво-производные дубовые леса, в некоторых из которых протекают восстановительные сукцессии и присутствует обильный подрост хвойных видов.

**Материалы и методика.** В работе использована методика создания прогнозных моделей пространственного распределения растительного покрова на основе связи биотических и абиотических параметров, разработанная и апробированная для территории Верхнеуссурийского стационара БПИ ДВО РАН [2, 3, 5, 6].

Общий алгоритм создания картографических моделей потенциальной растительности состоит из следующих шагов: (1) полевые исследования для получения массива географически привязанных геоботанических описаний и использование уже наработанных баз данных геоботанических описаний и пробных площадей для исследуемой территории; (2) создание (или уточнение) классификации растительности исследуемой территории; (3) получение дополнительных точечных данных с известным типом растительности одним из доступных способов (например, в результате дешифрирования данных дистанционного зондирования или дополнительных маршрутных обследований изучаемой территории); (4) расчет карт топографических переменных (например, на основе цифровой модели рельефа); (5) подготовка таблиц исходных данных, построение и анализ моделей распространения растительных сообществ; (6) составление и анализ карт потенциальной растительности.

Цифровая модель рельефа (Digital Elevation Model, DEM) представляет собой растр, где для каждого пикселя указано значение высоты над уровнем моря. Разрешение раstra – от 30 до 1000 м. Цифровые модели рельефа с разрешением до 90 м находятся в свободном доступе по адресу <http://srtm.csi.cgiar.org/>. С использованием ряда алгоритмов на основе цифровых моделей рельефа можно получить карты распределения более 20 топографических переменных, связанных с локальными климатическими условиями местообитания. В данной работе с этой целью мы используем программный пакет ILWIS (последнюю версию пакета можно найти по адресу <http://www.ilwis.org/>). В нашей работе один из основных методов статистического анализа – инструмент GAM (Generalised Addictive Models – генерализованные аддитивные модели, <http://www.unine.ch/CSCF/grasp/>), позволяющий создавать весьма точные прогностические модели и используемый для разработки моделей отклика растительных сообществ на изменение факторов местообитания [7]. Для составления карт мы использовали компьютерную программу ArcGIS с модулем Spatial Analyst.

**Результаты.** В ходе полевых исследований на территории заповедника «Кедровая падь» получено 180 геоботанических описаний. Массив описаний, накопленный в течение двух полевых сезонов 2010-2011 гг., позволил уточнить классификационную схему растительности заповедника (за основу взята классификация Н.Г. Васильева [1]), а также обеспечил базу, необходимую для дешифрирования космоснимков.

В классификационную схему растительности заповедника вошли 22 типа леса, разделенные на горные и долинные леса. Леса горных склонов: сухие – дубовые леса (рододендроново-осочковые, леспедцевые с березой Шмидта), чернопихтово-широколиственные леса (леспедцево-вейгелловые, лещинно-вейгелловые); свежие –

дубовые леса (высокотравно-парковые, леспедцевые, лещинно-леспедцевые, разнокустарниковые), широколиственные леса (ясеновые леса разнотравные, липовые леса лещинные с кленом мелколистным), чернопихтово-широколиственные леса (разнокустарниковые с березой желтой, кленово-чубушниковые), кедрово-широколиственные леса (разнокустарниковые, грабовые с пихтой цельнолистной), пихтово-широколиственные леса разнокустарниковые, елово-пихтовые леса с заманихой высокой); влажные – дубовые леса (леспедцевые с осмундой, папоротниковые) и чернопихтово-широколиственные леса (папоротниковые). Долинные леса: влажные – ясеновые леса разнокустарниковые, ивовые леса разнотравные, чозениевые леса разнотравно-кустарниковые; сырые – ольховые леса из ольхи волосистой разнотравно-кустарниковые и ольховые леса из ольхи японской вейниково-разнотравные.

Из дубовых лесов, преобладающих в настоящее время на территории заповедника, коренным типом можно считать только сухие рододендрово-осочковые, встречающиеся вдоль острых каменистых гребней и близ узких вершин. В представленную классификационную схему не была включена луговая и кустарниковая растительность, занимающая довольно обширные территории в южной части заповедника, поскольку они представляют собой конечные стадии деградации лесной растительности под влиянием пожаров.

Для создания прогнозных моделей растительности на основе цифровой модели рельефа были рассчитаны карты распределения 15 топографических переменных, определяющих основные характеристики условий местопроизрастаний. Кроме того, поскольку заповедник «Кедровая падь» расположен практически у берега Амурского залива Японского моря, была добавлена переменная, показывающая расстояние от данной точки до береговой линии.

Таблица 1. Топографические переменные, использованные для создания моделей и их экологическое значение

Переменные	Обозначение	Экологическое значение
<i>Морфологические</i>		
Высота над уровнем моря (м)	Altitude	Температура, влажность, давление CO <sub>2</sub>
Экспозиция (градусы)	Aspect	Солнечная радиация, ветер, влажность
Уклон (%)	Slope	Солнечная радиация, стабильность грунта, процессы эрозии, влажность
Кривизна профиля (от -1 до 1)	ProfC	Влажность, эрозия/отложение осадков
Кривизна плана (от -1 до 1)	PlanC	Солнечная радиация, ветер, влажность
Средняя кривизна (от -1 до 1)	MeanC	Влажность, эрозия
Северность (от 1 до -1)	Northness	Зимняя/летняя солнечная радиация
<i>Климатические</i>		
Потенциальная инсоляция (%)	Solin	Солнечная радиация
<i>Гидрологические индексы</i>		
Комплексный топографический индекс	TWI	Влажность, накопление воды и холодного воздуха (инверсии)
Индекс переноса осадков	STI	Потенциал эрозии, накопление осадочных пород
Индекс интенсивности течений	SPI	Потенциал эрозии, накопление осадочных пород
<i>Формы рельефа</i>		
Степень принадлежности к долине (от 0 до 1)	glfChan	Режим увлажнения и температуры, перенос и накопление осадочных пород
Степень принадлежности к равнине (от 0 до 1)	glfPlane	Режим увлажнения и температуры
Степень принадлежности к хребту (от 0 до 1)	glfRidge	Режим увлажнения и температуры
Степень принадлежности к склону (от 0 до 1)	glfSlope	Режим увлажнения и температуры

В окончательных моделях, полученных с помощью модуля GRASP для пакета S-Plus, из четырех групп переменных участвуют главным образом три. Перечислим их в порядке значимости: морфологические переменные, гидрологические индексы и, наконец, климатическая переменная Solin. Из морфологических переменных наибольшее значение имеет высота (переменная Altitude), описывающая уменьшение температуры при увеличении высоты над уровнем моря. Также большие значения для описания температурного режима имеют переменные Solin (потенциальная инсоляция склона) и Northness («северность»), описывающие неравномерный прогрев склонов разной экспозиции. Другое явление, модифицирующее общую закономерность температурного режима – инверсии, описываемые гидрологическим индексом TWI. Холодный воздух спускается в долины, благодаря чему в слияниях ключей на северных склонах встречаются участки елово-пихтовых лесов. Горы территории заповедника относительно крутые, поэтому возрастает роль в моделях переменной кривизны в профиле (ProfC). Из гидрологических индексов в модели вносят наибольший вклад переменные SPI, STI (индексы интенсивности течений, описывающий эрозионные процессы) и TWI (индекс влажности). Для типов леса, встречающихся на гребнях и близ хребтов (например, дубовые леса рододендрово-осочковые) важными оказываются переменная SPI. Дифференциация типов леса горных склонов связана в первую очередь с индексом TWI, причем в описании режима увлажнения (его изменений в связи с разной интенсивностью испарения со склонов разной экспозиции) опять-таки играет большую роль переменная инсоляции (Solin). Переменные форм рельефа вносят наименьший вклад в модели. Относительно значимой оказывается переменная glfChan, выделяющая узкие долины, и glfRidge – узкие, сухие хребты.

В результате получены модели распределения сообществ разных типов леса заповедника. Полученные нами модели показывают как должен был выглядеть растительный покров заповедника до нарушений. Долины рек должны быть заняты группой долинных лесов – главным образом ясенево-ильмовыми, чозениевыми и ольховыми лесам (долины – близкие к единице значения переменной glfChan; относительно важные и прохладные – высокие значения индекса TWI). Склоны гор должны быть заняты чернопихтовыми лесами. Нижние части южных и склонов – влажные чернопихтовые леса папоротниковые (относительно теплые – высокие значения Solin и низкие Northness, влажные – TWI). Средние части северных склонов – чернопихтовые леса кленово-чубушниковые и разнокустарниковые с березой желтой (средние высоты – Altitude, относительно прохладные – более низкие значения Solin и высокие значения Northness). Верхние части северных склонов, а также средние и верхние части южных склонов – сухие леспедедицево-вейгелловые и лещинно-вейгелловые леса (сухие – низкие значения TWI, высокие значения Solin и, для гребней, значения ProfC ближе к единице, верхние части – Altitude). На гребнях южных склонов вне зависимости от высоты над уровнем моря должны встречаться дубовые леса рододендрово-осочковые (хорошо инсолированные участки – Solin, со скелетными каменистыми почвами – высокие значения индексов STI и SPI и очень сухие – самые низкие значения индекса TWI). Судя по всему, на крутых южных склонах должны были встречаться и кедрово-дубовые леса, но в настоящее время от них не осталось никаких следов, и нет данных для построения моделей. Узкие долины ручьев на северных склонах должны быть заняты инверсионными елово-пихтовыми лесами (долины индицируются переменными ProfC и glfChan, а температурные инверсии описываются переменной TWI).

Результаты показывают, модели можно использовать в двух направлениях. По данным, полученным на оставшихся ненарушенных участках можно воссоздать карты потенциальной растительности. Эта информация может быть полезна, например, для задач лесовосстановления. Если же создать модели для производных типов (дубовые леса, кустарниковая, луговая растительность), то можно прогнозировать изменения растительного покрова при продолжающемся антропогенном воздействии.

## Литература

1. *Васильев Н.Г.* Флора и растительность заповедника «Кедровая падь» // Тр. Биолого-почвенного института ДВНЦ АН СССР, 1972. Т. 8. С. 17-42.
2. *Омелько А.М., Яковлева А.Н.* Создание карт потенциальной растительности с использованием генерализованных аддитивных моделей // Материалы Всероссийской научной конференции «Проблемы изучения и сохранения растительного мира Евразии». Иркутск, 2010. С. 684-687.
3. *Омелько А.М., Яковлева А.Н.* Создание карт потенциальной растительности с использованием генерализованных аддитивных моделей // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. Санкт-Петербург, 2011. Том 1. С. 391-394.
4. *Парфенова Е.И., Чебакова Н.М.* Возможные изменения климата и составление прогнозных карт// Геоботаническое картографирование, 1998-2000. СПб., 2000. С. 26-31.
5. *Яковлева А.Н.* Модель пространственной структуры растительности территории Верхнеуссурийского стационара // Экология, 2010. №4. С. 271-280.
6. *Яковлева А.Н., Омелько А.М.* Картирование потенциальной лесной растительности с использованием генерализованных аддитивных моделей // Леса и лесное хозяйство в современных условиях: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Хабаровск, 2011. С. 62-64.
7. *Hastie T., Tibshirani R.J.* Generalized additive models. London: Chapman & Hall, 1990.