

# ПРИРОДА

№ 4, 2001 г.

Назимова Д.И., Поликарпов Н.П.

## **Возможен ли прогноз лесного покрова Сибири на XXI век**

© “Природа”

Использование и распространение этого материала  
в коммерческих целях  
возможно лишь с разрешения редакции



Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”  
(грант РФФИ 00-07-90172)

[vivovoco.nns.ru](http://vivovoco.nns.ru)  
[vivovoco.rsl.ru](http://vivovoco.rsl.ru)  
[www.ibmh.msk.su/vivovoco](http://www.ibmh.msk.su/vivovoco)

# Возможен ли прогноз лесного покрова Сибири на XXI век?

Д.И.Назимова, Н.П.Поликарпов

**Л**есные экосистемы — мощный фактор стабилизации биосферы. Сохранение лесов приобретает особое значение в меняющихся условиях среды, и в частности для предотвращения катастрофических последствий глобального потепления, которым озабочено мировое научное сообщество на рубеже веков. Перед лесоводами и лесными экологами встают задачи прогноза состояния лесного покрова при различных климатических сценариях.

Какое же будущее ожидает российские леса? Сместятся ли границы лесных и других природных зон, и какой трансформации подвергнется их внутренняя структура? Какие древесные породы будут наиболее устойчивы в новых ситуациях, например в условиях повышенного риска засухи, лесных пожаров, нашествия насекомых-вредителей и других природных чрезвычайных событий? Какие из устойчивых сообществ способны поддержать благоприятную среду обитания человека, а также огромного мира живых организмов?

Первые варианты ответов на эти вопросы получены в начале 90-х годов с помощью сопряженного моделирования климата и наземных экосистем на глобальном уровне [1]. Согласно

© Д.И.Назимова, Н.П.Поликарпов



**Дина Ивановна Назимова**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института леса СО РАН, эколог, геоботаник. Изучает закономерности высотной поясности и широтной зональности в Сибири. Автор серии работ, посвященной связям растительности с климатом, в том числе модели лесного покрова Северной Евразии. В последние годы занимается применением материалов космической съемки при обзорном картографировании растительного покрова Сибири.



**Николай Павлович Поликарпов**, кандидат сельскохозяйственных наук, заслуженный лесовод Российской Федерации. Много лет заведовал лабораторией лесоводства в том же институте, участник многочисленных экспедиций в лесах Сибири, автор многих публикаций по проблемам экологии и воспроизводства лесов.

прогнозу зарубежных авторов, бореальные леса Евразии подвергнутся существенной перестройке. В частности, в Сибири возможен существенный сдвиг всех границ природных зон к северу и северо-востоку, замещение редколесий на севере тайгой, а хвойных лесов на юге — лесостепью и даже степью.

Но связи между климатом и растительным покровом всегда региональны. Поэтому для Сибири глобальная модель растительности, воссозданной по ряду параметров климата, неточна. Очевидно, нужна целая иерархия моделей — последовательность ступеней моделирования, в которых будут отражены природные связи разного уровня, а затем и антропогенные факторы.

О том, что заметные сдвиги зон происходили в прошлом, свидетельствуют палеогеографические реконструкции [2]. Так, в частности, в Приенисейской Сибири южная граница леса в голоцене смещалась к северу на 300—400 км, а северная сдвигалась в тундру на 500—700 км [3]. В предгорьях Южной Сибири, издавна обжитых человеком, в течение последних нескольких тысяч лет прослеживается тенденция к медленному наступлению леса на степь. Документально подтверждено, что рост леса на границе со степью за последние сто лет кое-где даже улучшился, несмотря на сильный антропогенный пресс. Это можно объяснить местными циклами увлажнения, наложившимися на общую тенденцию потепления — за последние 100 лет средняя годовая температура приземного слоя воздуха возросла примерно на 0.5°C. Однако по прогнозам, сделанным с учетом накопления углекислого и других парниковых газов, уже в первой трети XXI в. она может возрасти в азиатской части континента на 3—4°C. По мнению ряда зарубежных экологов, планете грозит опустынивание одних районов и обезлесение других, а лесам Сибири — высокая опасность деградации из-за усиливающегося риска по-

жаров, таяния мерзлоты, нашествия вредителей и других возможных факторов трансформации лесов, связанных с изменением климата.

К сожалению, результаты численного моделирования не позволяют пока достоверно описать картину климата планеты (и особенно отдельных его регионов) в недалеком будущем. Одно из наиболее узких мест прогноза — эволюция атмосферного увлажнения. Эта часть моделей глобальной циркуляции атмосферы особенно противоречива и неадекватна эмпирическим данным. Прогнозировать же динамику растительного покрова только на базе данных об изменении температуры, по нашему убеждению, не имеет смысла. Только соотношение тепла и влаги, а также их распределение в годовом цикле могут дать ответ на вопрос, будет ли в данном районе пустыня, степь, лес (а если лес, то какой)?

## Первые опыты моделирования лесного покрова Сибири

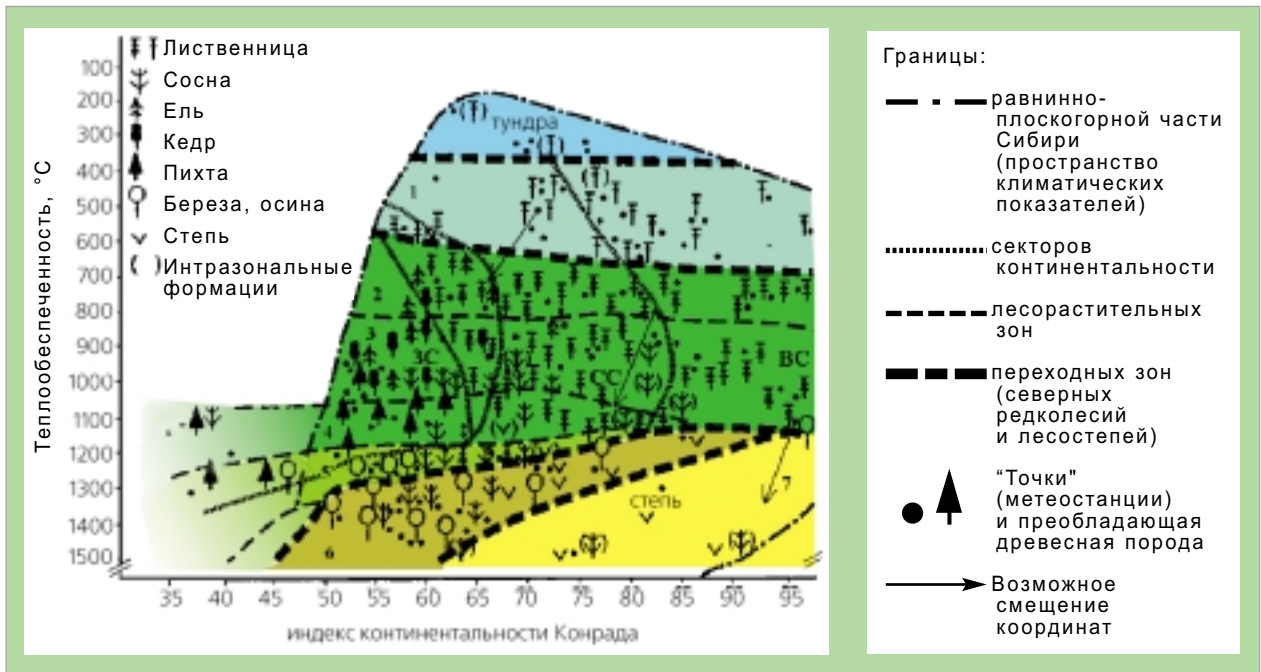
Количественную связь состава и структуры лесного покрова с климатическими характеристиками мы исследуем давно, начиная с 70-х годов. Вслед за горами Южной Сибири в поле зрения попали территории всего этого региона, а затем и всей Северной Евразии. В итоге создана серия эмпирических графических схем, или портретов, на которых отразилось изменение состава и продуктивности лесов в горах или на равнинах в зависимости от теплообеспеченности, сумм осадков, относительного увлажнения, степени континентальности климата [4,5]. Климатическими параметрами в этом моделировании послужили данные, полученные на метеостанциях и дополненные расчетными (поэтому они охватывают весь диапазон значений в Сибири). Характеристики лесного покрова

взяты из материалов районирования лесной растительности и фондовых данных лесостроительства.

Графические портреты, один из которых представлен на с. 57, по сути были первыми биоклиматическими моделями лесного покрова, отразившими связи между региональным климатом и биотой (т.е. всей живой частью наземных экосистем) в количественной форме. Кроме лесов, на этих схемах присутствует граница с тундрами и со степями — двумя другими главными биомами (экосистемами крупного зонального ранга) наземного покрова Сибири. Этот немаловажный момент позволяет определять области возможного риска для существования леса и варианты взаимодействия с тундрой и степью при разных сценариях изменения климата, т.е. переходить к прогнозам на биомном уровне.

Система зон и подзон на графических портретах традиционна, а вот выделение секторов континентальности—гумидности (влажности), отмеченных ранее в работах Л.В.Шумиловой, В.Б.Сочавы, А.Г.Исаченко и др., в количественном выражении получено нами впервые. Область перекрытия западносибирского и среднесибирского географических секторов имеет вид неправильного треугольника. Здесь господство темнохвойных лесов постепенно сменяется преобладанием лиственных, которая укрепляется в северной тайге и редколесье благодаря вечной мерзлоте. Последняя вносит коррективы и в зональную структуру всего восточносибирского сектора, где расширяется зона редколесий и выклинивается южная тайга и подтайга, а на большей части региона превалирует лиственница Каяндера.

Надо заметить, что секторы географического пространства не вполне совпадают с секторами климатического, особенно в горном рельефе. Чем выше в горы, тем климат обычно мягче и влажнее. Разница в индексах



Пример графической биоклиматической модели лесного покрова Сибири, показывающей систему лесорастительных зон и биомов в координатах теплообеспеченность (сумма среднесуточных температур за сезон роста)—континентальность (по данным материалов лесостроительства и 225 метеостанций). Цифрами обозначены: северные редколесья, притундровые леса (1); тайга северная (2), средняя (3), южная (4); подтайга или смешанные хвойно-лиственные леса (5); лесостепь (6); степь (7). Буквами отмечены секторы континентальности: западносибирский континентальный гумидный (ЗС), среднесибирский резко континентальный гумидный и семигумидный (СС), восточносибирский резко и крайне континентальный — от криосемигумидного до семиаридного (ВС). Согласно одному из сценариев умеренного потепления, сопровождаемого снижением степени континентальности климата, лесорастительный потенциал всех точек смещается в направлении, указанном стрелками.

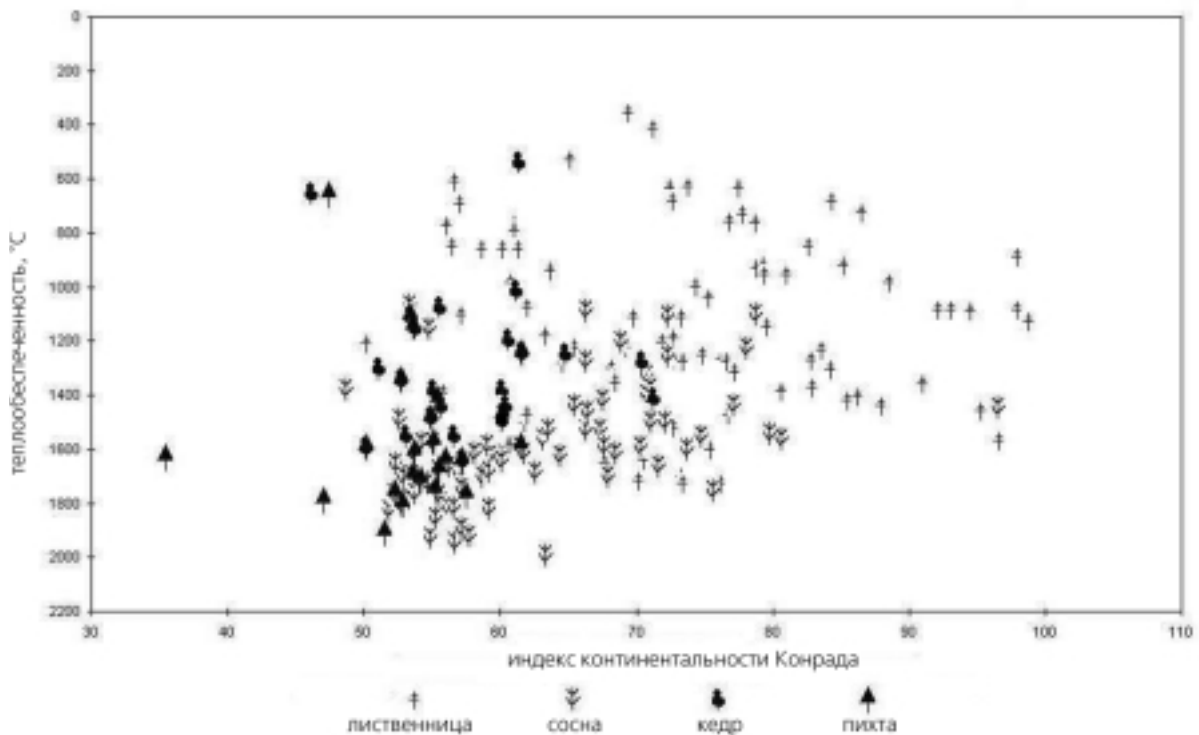
континентальности Конрада\* между подножьями и вершинами гор достигает 20—30, но еще более значимо для растительности относительное увлажнение. Горные и плоскогорные ландшафты Сибири (а они составляют более 50% ее территории) соответственно попадают на графических моделях в два разных сектора континентальности и два-три класса влажности. На компьютерной карте растительности [6], построенной с использованием модели 1990 г. [4], горные территории Сибири достоверно воспроизведены как многопоясные системы, и это вполне согласуется с реальной картиной.

Результаты проверки рабочих качеств биоклиматических моделей [7] наглядно показали, что они имеют прямой выход на обзорное (мелкомасштабное) картографирование растительности. Имея карты с характеристиками тепло- и влагообеспеченности, с помощью модели можно прогнозировать биоклиматический потенциал каждого участка территории с учетом всех особенностей топографии местности при разных сценариях климата.

В последние годы в нашем институте для мелкомасштабного картографирования растительности используются снимки со спутников серии «NOAA», сразу даю-

щие генерализацию изображения крупных участков суши площадью около 1 км<sup>2</sup>. Снимки подтвердили, что биогеоклиматические высотные зоны в горах можно различить из космоса. Это хорошо видно на подобном изображении Минусинской котловины, приведенном на с.60. Карты высотных зон растительности, составленные традиционными методами, иногда имеют довольно высокую степень сходства с отдельными фотографиями или их частями. В ряде случаев они помогают уточнить границы поясов [8]. Обзорность и повторяемость из года в год делают космическую информацию исключительно ценной для мониторинга растительного покрова, и в частности —

\* Индекс континентальности Конрада определяется как  $C_{\text{кон}} = 1.7 A_{\text{год}} / \sin(\varphi + 10^\circ) - 14$ , где  $A_{\text{год}}$  — разность между средними температурами июля и января,  $\varphi$  — широта пункта.



Графический портрет состава хвойных лесообразователей Сибири на осях климатических координат теплообеспеченность (сумма среднесуточных температур выше 10°)—континентальность (620 точек). Темнохвойные лесные массивы группируются при меньших показателях индекса континентальности Конрада, чем светлохвойные, тогда как по теплообеспеченности и те, и другие разграничены слабо.

прогноза состояния лесов с учетом пожарной ситуации, антропогенных нарушений и т.д.

Следующий этап построения биоклиматических моделей связан с разработкой с 1997 г. автоматизированной информационной системы «Биом». В ней будут отражены связи растительности не только с климатом, но и с другими компонентами биоты, а также с субстратом, в частности — почвами. Это хранилище данных позволит не только строить модели, но и уточнять уже имеющиеся [9].

### Что и как можно прогнозировать на базе информационной модели?

Как уже отмечалось, для большей части Сибири при прогнозах динамики лесной рас-

тительности наиболее значимы относительное увлажнение и континентальность. Именно эти показатели в основном определяют положение границ леса и степи, а также темнохвойных (кедровников, ельников, пихтарников и смешанной тайги) и светлохвойных (сосняков и лиственничников) зональных формаций. Не следует путать эти формации с так называемыми интразональными или азональными, приуроченными к участкам с особыми почвенными и гидрологическими условиями. Выяснилось, что в Сибири темнохвойные леса не встречаются в зональных ландшафтах, если радиационный индекс сухости Будыко превышает 0.6—0.7 в Средней Сибири и 0.8—1.0 в Восточной Сибири\*. Индекс континентальности Конрада для темнохвойных зон и высотных поясов лежит в диапазоне 35—65 ед., а при бо́льших его величинах они сменяются сосня-

ками (юг Средней Сибири) или лиственничниками (вся Восточная Сибирь). Ростом континентальности обусловлена и смена видового доминирования лиственницы в Сибири: на севере Западной Сибири господствует лиственница сибирская, на севере Средней Сибири — Гмелина, а в Якутии — Каяндера, порода крайне континентального климата. Даже для фоновых лесов, особенно широко распространенных в Сибири (чернично-зеленомошных и багульниково-бруснично-зеленомошных), степень континентальности климата играет роль лимитирующего фактора, ограничивающего области их доминирования. Значит, нужно разрабатывать прогноз, ориентируясь не просто на интегральные показатели тепло- и влагообеспе-

\* Радиационный индекс сухости Будыко определяется как  $I_b = B/LR$ , где  $B$  — радиационный баланс,  $L$  — скрытая теплота испарения воды,  $R$  — годовые осадки.

ченности, но и на режим процессов тепло- и влагопереноса, который учитывается показателем континентальности Конрада.

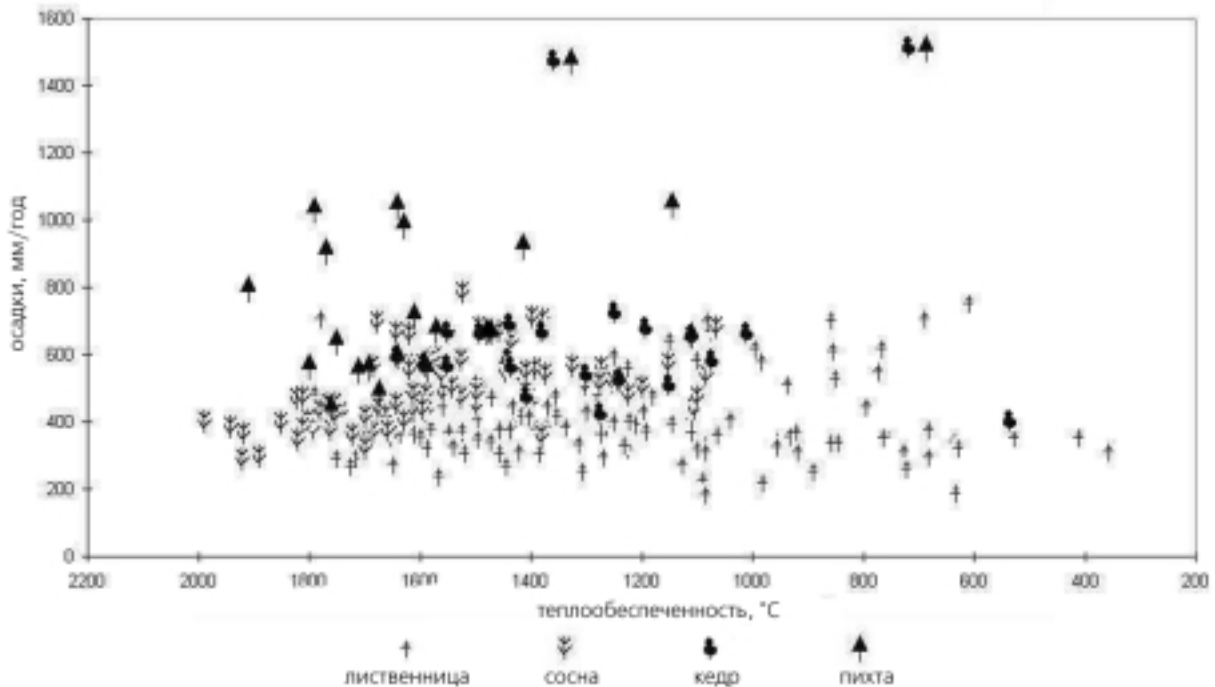
Представленные здесь графические портреты зональных формаций в осях климатического пространства построены по данным информационной системы «Биом». На них каждая точка географического пространства перенесена в климатическое в соответствии с его характеристиками (в базе данных собрано более 30 климатических характеристик для 620 станций Сибири). На схемах можно видеть, что области доминирования (климатические ниши) хвойных формаций Сибири хотя и перекрываются, все же существенно размежеваны по признакам климата. Их взаимодействие определяется климатом и в то же время говорит о его изменениях. Однако это

лишь один из способов представления результатов информационного моделирования. В информационной системе «Биом» постепенно собираются самые разнообразные характеристики зональных классов лесных экосистем, их продуктивности, сезонной ритмики жизни — всех сторон функционирования, связанных так или иначе с климатическим режимом данной территории. На следующих этапах моделирования может быть выявлено и влияние антропогенного фактора.

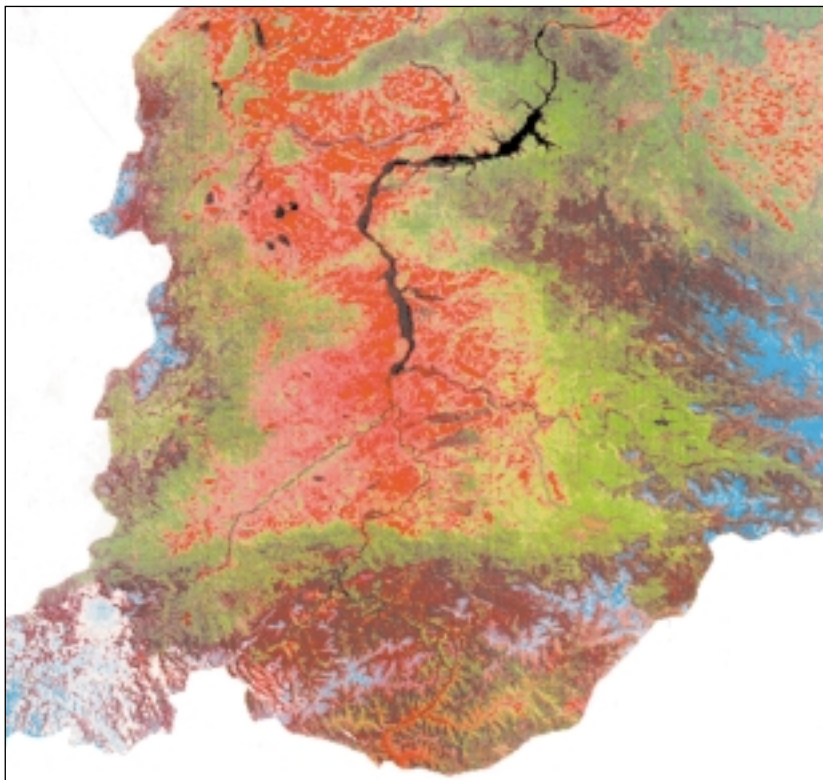
Принцип, лежащий в основе прогнозирования динамики лесного покрова по биоклиматическим моделям, проще всего объяснить на примере представленных выше графических портретов. На модели (см. с.57) границы зон инвариантны, т.е. устойчивы при изменениях климата,

в климатическом же пространстве место любого географического пункта смещается. Такое смещение может быть показано стрелками, если известны начало и конец движения, либо траекторией, если имеется несколько климатических координат одной точки (станции) в разные сроки прогноза. Далее можно предсказать, в какую сторону пойдет смена естественной зональной растительности и связанных с ней живых организмов, какие виды или экосистемы окажутся под угрозой, а какие, наоборот, расширят свой ареал.

Система «Биом» используется с 1998 г. с целью прогнозных оценок степеней риска для существования того или иного класса растительности при задаваемых сценариях климата. В частности, совместно с сотрудниками Института вычислительного моде-



*Графический портрет состава хвойных лесобразователей Сибири в двумерной проекции климатического пространства (620 точек). Области доминирования темнохвойных пород занимают более влажную часть климатического пространства. Намечаются ареалы лесных массивов с господством пихты, кедровой сосны, смешанных хвойных лесов (с елью, кедровой сосной и светлохвойными породами), лиственницы. Сосна не имеет четкого ареала, будучи интразональной породой, но и у нее есть своя климатическая ниша, не занятая темнохвойными породами. Географически это часть Зауралья и юга Средней Сибири.*



*Снимок Минусинской степной котловины и ее горного окружения, сделанный со спутника серии «НОАА» 3 июля 1998 г. Цветовая гамма с высокой точностью передает картину концентрической поясности в горном окружении котловины — от степей и лесостепей в центральной ее части до высокогорных тундр и редколесий. Серия снимков, сделанных в разные сроки, дает богатую информацию о биоклиматическом потенциале каждой зоны или пояса.*

лирования СО РАН (ИВМ) и Красноярского государственного университета В.Г.Царегородцевым, Л.Ф.Ноженковой, Н.М.Андреевой был выполнен прогноз зонального потенциала для ряда территорий Сибири на первую половину XXI в. На основе этого прогноза и разработанного авторами блока экологических параметров лесообразующих пород будет дана оценка устойчивости отдельных лесных формаций или групп формаций (темнохвойных, сосновых, лиственных, мелколиственных) в новых условиях

С помощью программы специальной компьютерной технологии, разработанной в ИВМ под руководством А.Н.Горбаня [10], на первом этапе удалось идентифицировать зоны и секторы континентальности с высокой долей надежности: процент правильных ответов в тестирующей выборке составил 80—96%. Затем был проведен прогноз смены зонального потенциала для 40 географических пунктов Сибири.

В его задачу входило выделение точек, которые могут подвергнуться максимальному риску чрезвычайных ситуаций из-за

потери устойчивости экосистем или их отдельных компонентов. Из 36 климатических показателей для прогноза были выбраны средние температуры января и июля, годовые нормы осадков и индекс континентальности Конрада, рассчитанные по данным наблюдений за 15—30 лет.

Оказалось, что на территории Сибири есть немало точек, например Якутск, Иркутск, Братск, Кежма и т.п. (всего 12 из 40), которые могут изменить свой зональный потенциал и перейти в лесостепную зону, если прирост летних температур составит 1—2°C, а зимних 3—4°C. Этот сценарий на 2030 г. не самый экстремальный и на фоне других выглядит достаточно реалистичным.

В отличие от ряда зарубежных вариантов, предполагающих только повышение температуры воздуха, наш прогноз учитывает рост осадков на 30—50 мм/год. Правда, и при этом увлажнение в южной части Сибири останется недостаточным, чтобы компенсировать нарастающий рост теплообеспеченности и «удержать» леса на южной окраине бореаль-

ной области — они здесь начнут отступать. Только увеличение мощности снежного покрова и общего годового количества осадков на 140—300 мм и более позволило бы сохраниться здесь зональным светлохвойным и смешанным формациям. Однозначно можно ожидать усиления позиций лиственных пород — осины и, конечно, березы. Мелколиственным породам и сосне всегда принадлежит исключительная роль при всех трансформациях лесного покрова в бореальных экосистемах, и их недаром называют породами-пионерами.

Темнохвойные формации и связанные с ними популяции живых организмов окажутся в условиях повышенного риска для выживания. Климатический режим подтайги и лесостепи неблагоприятен для них уже в силу того, что вызывает высокую пожароопасность в весеннее время. Дело в том, что механизмы элиминации (уничтожения) темнохвойных на южном пределе их распространения не связаны напрямую ни с температурами, ни с порогами устойчивости кон-

кратных видов деревьев к засухе, как считают некоторые исследователи. Лесной пожар, инвазии насекомых-вредителей и тому подобные бедствия — вот те отработанные веками природные механизмы, которые включаются в ходе циклических колебаний климата, приводя экосистему в соответствие с новой климатической обстановкой. Часто действуя совместно, они разрушают прежние связи и тем самым выполняют важную роль в эволюции ландшафтов Сибири, не просто трансформируя, но и гармонизируя ландшафт, как ни парадоксально это выглядит на первый взгляд.

Масштабы этих воздействий колоссальны. В Сибири пожары, например, повсеместны — они охватывают территорию от южных пределов лесной области и до крайних северных массивов (периодически горят даже северные редколесья, хотя срок пожароопасного периода на севере в 3—5 раз меньше, чем на юге). Без учета потенциальных пожаров не решаются ни вопросы будущего лесного покрова, ни проблемы долговременного прогноза климатических изменений.

Потепление не всегда связано с параллельным иссушением климата. В период климатического оптимума голоцена, начавшегося 5.5 тыс. лет назад, в течение тысячи и более лет потеплению в средних и высоких широтах Северного полушария сопутствовало увлажнение климата. Это и позволило в то время широко расселиться темнохвойным породам, потеснившим за счет своей теневыносливости сосну, березу и лиственницу. На коротких интервалах времени не удается пока, к сожалению, найти достоверную корреляцию между потеплением и увлажнением, и это одна из трудных задач для климатологов, занимающихся прогнозом природных режимов на XXI в. Мы же на немногих примерах попытались показать, что для судьбы boreальных лесов значительно более важным, чем собственно повышение температуры, будет ре-

жим увлажнения — соотношение тепла и влаги.

\* \* \*

Первые результаты компьютерного прогнозирования динамики лесного покрова обнадеживают, хотя нерешенных проблем остается немало. Не ясно до конца, какие из природных и антропогенных факторов будут управлять сменами наземных экосистем в недалеком будущем. Благодаря долгой жизни каждого поколения деревьев состав лесов консервативен и инерционен, они дольше других экосистем реагируют на климатическое воздействие. Поэтому несколько десятилетий для них могут пройти без заметных изменений состава, если только не произойдет катастрофа, например сильный пожар или массовое нашествие вредителей леса.

Таким образом, если сценарии, предложенные климатологами, начнут сбываться, то сибирские ландшафты окажутся иными, чем в XX в. Но сдвига растительных зон скорее всего мы не увидим ни к началу, ни к концу наступившего века. Возможно, по космическим снимкам разных лет удастся заметить продвижение леса на север или вверх на границе с горной тундрой, но это будет не смена зон, а скорее изменения в структуре экосистем. Процесс замещения таких биомов, как тундра, тайга, степь со свойственными им биотой и почвенным покровом, длится многие века. Многие компоненты лесных экосистем просто не успеют подстроиться к изменившемуся климату. Не созреет и почвенный покров, требующий гораздо больше времени на перестройку, чем древесный ярус, напочвенный покров, подлесок.

Что касается нынешних экосистем (и сообществ), формирующих современный естественный покров, то они неизбежно будут меняться — в зависимости от многих факторов, и в том числе от климата. Трансформации подвергнется каждый компонент ландшафта и каждый его струк-

турный элемент. А в итоге покров перейдет в новое квазиравновесное состояние, скорее всего отличное от каких-либо аналогов, существовавших в прошлом.

Биоклиматические модели — первый шаг к пониманию того, куда будет направлен ход смен растительности или, иначе говоря, лесная сукцессия. Прогноз на основе таких моделей — один из важных начальных этапов, создающий базу для всех последующих и перехода к моделям более детального уровня. Далее имеет смысл подключать почвенные, антропогенные факторы, расширяя информационную базу конкретных региональных моделей. Очень перспективным, на наш взгляд, для горных условий будет моделирование лесного покрова с учетом высотной поясности и устройство лесов на базе экологических выделов: для них можно рассчитывать лесорастительный потенциал и определять оптимальный путь его использования с учетом экологической и экономической целесообразности. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 97-04-49072 и 00-04-48608.**



## Литература

1. *Prentis C., Cramer W., Harrison S.P. et al.* // J. Biogeogr. 1992. V.19. P.117—134.
2. Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири/ Под ред. С.В.Маркина. Новосибирск, 2000.
3. *Кошкарлова В.Л.* Семенные флоры торфяников Средней Сибири. Новосибирск, 1988.
4. *Назимова Д.И., Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М.* Климатическая ординация лесорастительных зон и высотных поясов как основа для обобщенной классификации лесного покрова // Междунар. симпозиум «Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие». Архангельск, 16—20 июля 1990. М., 1990. Ч.V. С.49—62.
5. *Назимова Д.И.* // Ботан. исслед. в Сибири. Красноярск, 1994. Вып.2. С.61—72.
6. *Tchebakova N.M., Monserud R.A., Nazimova D.I.* // Canad. Journ. of Forest Research. 1995. №4. P.24—28.
7. *Tchebakova N.M., Monserud R.A., Leemans R., Nazimova D.I.* Possible vegetation shifts in Siberia under climatic change // Impacts of climate change on ecosystems and species / Eds R.Leemans, D.Elder and S.Humphrey. Geneva, 1995. P.67—82.
8. *Назимова Д.И., Поликарпов Н.П., Сухинин А.И., Федотова Е.В., Харук В.И.* // География и природ. ресурсы. 2000. №4. С.117—123.
9. *Назимова Д.И., Ноженкова Л.Ф., Поликарпов Н.П.* Биоклиматические модели и их применение для прогноза трансформаций лесного покрова Сибири. Красноярск, 1998. Препринт.
10. *Горбань А.Н., Россиев Д.А.* Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск, 1996.

## Дорогие читатели!

Подписывайтесь на «Природу» в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки ( в редакции ) на II полугодие 2001 года – 40 руб. за номер или 240 руб. за полугодие. Иногородние могут выслать деньги за подписку почтовым переводом до 15 мая 2001 года, добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

Наш адрес: 119991 Москва ГСП-1, Мароновский пер., 26, «Природа», Александровой Ирине Филипповне (тел. 095-238-24-56).