

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 630*:581.9 (571:53):524.3 + 551.8

Д. И. НАЗИМОВА, В. Г. ЦАРЕГОРОДЦЕВ, Н. М. АНДРЕЕВА

Институт леса СО РАН, г. Красноярск

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ ЗОНЫ ЮГА СИБИРИ И СОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

По данным информационной системы «Биом» построена ординация зональных категорий растительного покрова юга Сибири на осях теплообеспеченности и континентальности. Оценено изменение климата, произошедшее с конца 1960-х по 2007 г. Показано, что оно может вести к трансформации состава потенциальной лесной растительности в ряде регионов. Обсуждаются прогнозируемые и наблюдаемые варианты долговременных сукцессий в разных секторно-зональных классах подтайги и лесостепи, в том числе риск сокращения площадей отдельных видов-лесообразователей.

Ключевые слова: зона, сектор, климатическая ординация, виды-лесообразователи, тренд климата, юг Сибири.

Data from the «Biome» information system were used to construct an ordination of zonal categories of vegetation cover in southern Siberia along the axes of heat supply and continentality. The changes of climate that occurred from the end of the 1960s to 2007 are estimated. It is shown that they can lead to transformation of the composition of potential forest vegetation in a number of regions. We discuss the forecasted and observed variants of long-term successions in different sectoral-zonal classes of subtaiga and forest-steppe, including the risk of a reduction in the areas of separate forest-forming species.

Keywords: zone, sector, climatic ordination, forest-forming species, climate trend, southern Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Зональность лесного покрова выступает как основная черта его структуры в масштабе всего континента Евразии, а природная (ландшафтная, почвенно-географическая, геоботаническая) зона, как и биогеоклиматическая зона в горах, «зонобиом» в зарубежных работах, представляет собой ключевое понятие для всех наук о живом (ландшафтном) покрове планеты. На данном этапе можно считать доказанной концепцию секторно-зональной структуры ландшафтного покрова бореальной области Евразии, разработанной в области ботанической географии и почвоведения и распространившейся на ландшафтоведение [1].

Данная концепция позволяет выйти на информационное моделирование структурных особенностей растительного покрова как компонента (или подсистемы) ландшафтного покрова, наиболее физиономичного и значимого по своей роли в современных биогеоценотических процессах [2]. В пределах бореальной лесной области особый интерес приобретают такие признаки зональной растительности, как состав эдификаторов (лесообразователей) и жизненных форм, сезонная ритмика процессов, показатели продуктивности, тесно связанные с современным климатом.

Применительно к задачам лесоведения и лесоводства правомерно использовать понятие «лесорастительная зона», которая имеет свою содержательную специфику по сравнению с географической (ландшафтной) зоной. Лесорастительная зона, в принципе, является специфическим вариантом природной (ландшафтной) зоны, при анализе структуры и динамики которой основное внимание уделяется особенностям состава и взаимоотношения лесообразующих пород на зональном уровне [3]. Они и определяют устойчивость конкретных популяций в конкретных ландшафтных позициях.

Термины «лесорастительная зона» и «forest zone», распространенный в зарубежной литературе, близки по содержанию и соответствуют понятию «биогеоклиматическая зона» [4, 5]. С позиций моделирования и прогноза они интересны как категории, базирующиеся на понятии «единства климата, почв и растительности» на уровне иерархии экосистем, близком к биомам.

Современная система зон на южной окраине бореальной области Сибири сложилась сравнительно недавно (с середины атлантического периода голоцена) и охватывает спектр от тайги и подтайги до лесостепи и степи, хотя последние рассматриваются в пределах суббореального класса. За время своего существования эти зональные классы претерпевали изменения, связанные с колебаниями климата и усиливающимся антропогенным воздействием.

С конца прошлого века стала актуальной проблема изучения устойчивости видов, экосистем и ландшафтов в ответ на изменения глобального и регионального климата, появились первые попытки прогноза и анализа зональных границ для отдельных крупных регионов России, в том числе для южной границы бореальных лесов и экотона лес–степь [2, 6–11]. Как правило, разными авторами анализируются последствия будущего потепления климата, для чего сопоставляются разные варианты сценариев, согласно глобальным моделям UKMO, OSU, GFDL, GISS на перспективу 2010, 2030, 2050, 2090 гг. [6–10]. Кроме того, возможны изучение направленности климатических изменений, произошедших во второй половине XX в., а также обсуждение предстоящих трансформаций лесного покрова в ответ на эти изменения.

Разработанные для Сибири биоклиматические модели зональных классов лесных экосистем [2] позволяют прогнозировать потенциальные состояния зональной растительности и направленность сукцессий при различных «сценариях» изменения климата с учетом взаимоотношений и взаимодействия видов-лесообразователей. Последние сохраняют устойчивый характер (инвариантны) в силу постоянства свойств и биологических особенностей каждого вида на рассматриваемом отрезке времени.

Цель настоящей работы — на основе трендов климатических показателей за вторую половину XX в. и начало XXI в. (до 2007 г.) достоверно выявить перспективы использования биоклиматических моделей для прогноза состава лесных экосистем в конкретных экорегионах. Речь идет о точечном прогнозе потенциального видового состава лесообразователей в условиях тайги, подтайги и лесостепи на юге Сибири и о выявлении «зон риска» для некоторых хвойных формаций в меняющемся климате.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При работе нами использованы база данных «БИОМ», созданная в Институте леса СО РАН, и опыт биоклиматического моделирования секторно-зональных категорий лесного покрова с использованием многолетних данных Гидрометслужбы [6, 8], а также информация о биогеографических особенностях и лесотипологической структуре лесов. В результате получена климатическая ординация секторно-зональной структуры лесного покрова Сибири, а позже (на более полной выборке данных) и всей бореальной области Евразии и контактирующих с ней зон, включая суббореальные лесостепи и степи [2]. Обозначено место Сибири в климатических координатах теплообеспеченность–континентальность: три из восьми секторов континентальности всей Евразии с коэффициентом континентальности от 50 до 100 на равнине и от 35 до 80 в горах. При проведении исследования применен показатель Конрада [2], широко известный в зарубежных работах, хотя для целей анализа могут быть весьма полезны и другие показатели.

Степень континентальности климата как интегральный показатель тепло- и влагообеспеченности и мерзлотности почв, других важных особенностей природных режимов сибирских ландшафтов четко отразилась в замещении эдификаторов, а также циклов, серий типов леса при переходе от одного биоклиматического сектора к другому по градиенту нарастания континентальности в пределах каждой зоны.

Нами были использованы многолетние данные [12], отражающие климатический режим, усредненный за первую половину XX в., а также данные лесорастительного районирования Сибири, проведенного на базе лесоустроительной информации, и обзорные карты растительности. В табл. 1 приведены некоторые характеристики климата по лесорастительным зонам и секторам на середину прошлого века [2], а в табл. 2 — особенности структуры растительного покрова на тот же период по зонам без деления на сектора, как это сделано ранее [3].

Новые данные по климату [13], позволяющие изучить произошедшие с начала 1970-х гг. изменения, имеются не для всех ранее включенных в базу данных метеостанций, что заставляет использовать исходный большой набор станций для очерчивания ареалов лесорастительных зон и секторов континентальности в климатическом пространстве и ограничиться сравнительно небольшим набором точек для оценки произошедших изменений. Однако число гидрометеостанций (ГМС) достаточно, чтобы сопоставить силу трендового движения с климатическими ареалами зон и секторно-зональных категорий растительного покрова в многомерном климатическом пространстве.

Климатические параметры зонально-секторных подразделений растительного покрова юга Сибири

Зона	Сектор	Сумма температур		Индекс континентальности Конрада	Радиационный индекс сухости Будыко	Коэффициент увлажнения Мезенцева	Сумма осадков за год, мм
		выше 5 °С	выше 10 °С				
Подтайга	Западносибирский	1950–2070	1650–1800	50–56	0,77–1,36	0,69–0,97	444–637
	Среднесибирский	1765–1977	1495–1696	57–72	0,95–1,4	0,59–0,78	350–494
Лесостепь, островная лесостепь	Западносибирский	2040–2420	1750–2170	52–59	0,84–1,76	0,48–0,86	354–593
	Среднесибирский	1859–2092	1587–1818	52–72	1,1–1,55	0,52–0,73	324–485
	Восточносибирский	1654–2084	1337–1730	66,4–76,1	0,9–2,8	0,41–0,68	268–408
Степь, островная степь	Среднесибирский	2143–2353	1807–2037	52,8–88,9	1,4–3,18	0,35–0,67	243–452
	Восточносибирский	1905–2265	1592–1982	69,7–75,1	2,6–3	0,36–0,47	246–409

Предварительный анализ данных [13, 14] показал, что для анализируемого набора ГМС надежно могут быть использованы только данные ежедневных температур и следующие рассчитываемые по ним показатели: среднемесячные температуры, годовая амплитуда температур, коэффициент континентальности Конрада (C_{cont}) и показатель биотемпературы [2]. Следует отметить, что значительное число пропущенных для отдельных дней данных не позволяет вычислить годовую сумму активных температур (САТ) (сумму ежедневных температур выше 10 °С), однако при анализе исходной базы данных между показателем биотемпературы и САТ получены коэффициент корреляции, равный 0,999, и линейная зависимость $Gdd_{10} = 366,33 \cdot TBio - 326,17$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9987$, что позволяет надежно рассчитать САТ по биотемпературе и далее отразить на графиках оба температурных показателя.

Таблица 2

Характеристика лесорастительных зон на юге Сибири

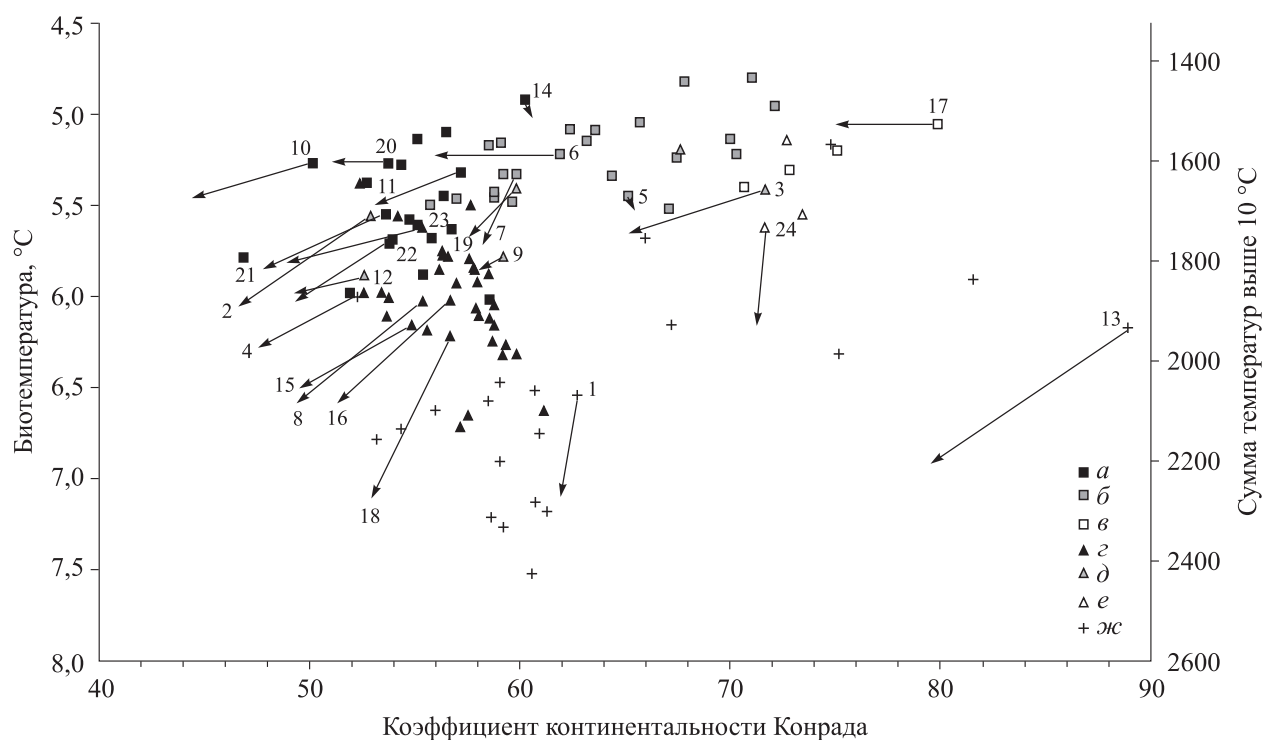
Зона	Климат в пределах сектора	Структура растительного покрова	Виды-лесообразователи	Состав экобиоморф нижних ярусов	Пирогенные смены
Тайга западносибирская	Континентальный, гумидный	Доминирование темнохвойных пород в зональных позициях, сосняков — в азональных (на песчаных и заболоченных почвах, в речных долинах). Болота — 50 %, леса — 45 %	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Picea obovata</i> , <i>Pinus sibirica</i> , на юге <i>Abies sibirica</i>	Бореальные кустарнички, травы, зеленые и сфагновые мхи, хвощи, осоки, плауны. Гипоарктические кустарнички в азональных позициях. Низкая видовая насыщенность под пологом леса	Леса из сосны, березы, реже осины с последующим возобновлением кедра, ели, а в южной части зоны и пихты
Тайга среднесибирская	Континентальный, криогумидный до семигумидного	Доминирование лиственничников в зональных позициях, ельников и сосновых боров в азональных. Темнохвойные приурочены к долинам (интразональные) и водоразделам (поясно-зональные). Леса — 60 %, нелесные земли — 31 %	<i>Larix sibirica</i> , <i>Larix gmelinii</i> , <i>Pinus sylvestris</i>	Гипоарктические и бореальные кустарнички, осоки, хвощи, зеленые и сфагновые мхи, кукушкин лен. Невысокая видовая насыщенность	В северной части на песках лиственничники, березняки, сосняки (доминирует лиственница Гмелина). На юге береза и сосна
Смешанные светлохвойно-мелколиственные леса (подтайга)	Континентальный, гумидный	Господство сосны и березы в зональных условиях, местами ель и пихта — в интразональных. Леса — 30–40 %, болота — 33 % в Западной Сибири и 4 % в Средней Сибири	<i>Betula pendula</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Larix sibirica</i>	Бореальные мезофильные лугово-лесные и луговые травы. Видовая насыщенность и видовое богатство высокие	Возможна смена хвойных пород на березу, лесов — на мезофитные луга, болота и кустарники. Ель, кедр, пихта неустойчивы в зональных позициях
Лесостепь	Континентальный и резко континентальный, гумидный и семигумидный	Сочетания луговых степей, настоящих степей и фрагментов подтайги в низкогорном рельефе на юге Сибири. Леса — 10–30 %, болота — 22 % в Западной Сибири и 4 % в Средней и Восточной Сибири	<i>Betula pendula</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Larix sibirica</i> , на востоке <i>L. gmelinii</i>	Лугово-лесные и луговые травы, злаки. Кустарники (<i>Caragana</i> , <i>Cotoneaster</i> , <i>Spirea</i> spp.). Видовая насыщенность сильно варьирует	Остепненные кустарниковые заросли и ксерофитные луга, редины с участием лиственных и светлохвойных пород

Данные по осадкам в источнике [13] ненадежны, так как годовые суммы осадков оказываются существенно заниженными по сравнению со средними многолетними данными на 1966 г. и противоречат полученным из иных источников значениям осадков. Однако коэффициент корреляции между коэффициентом континентальности и годовой суммой осадков на всей территории Сибири равен $-0,63$, а между этими же показателями в пределах изучаемой территории $-0,55$. Это позволяет говорить о том, что показатель континентальности может служить индикатором тренда для годовых сумм осадков.

Так, существенное ослабление континентальности указывает на возможное и даже весьма вероятное повышение уровня увлажнения, что согласуется с некоторыми сценариями изменения климата и с данными по динамике увлажнения на части территории Сибири [14], хотя более многочисленны сценарии будущего иссушения климата на юге Сибири и России в целом [6–10].

Нами выполнялась климатическая ординация станций в двух вариантах: 1) для всей территории Сибири; 2) для части территории, занимаемой смежными зонами южной тайги, подтайги, лесостепи и степи. Среднегорные и высокогорные районы и соответствующие метеостанции, относящиеся к горам юга Сибири, в настоящий анализ не были включены. «Раскраска» точек-станций в соответствии с кодами-маркерами лесорастительных зон, секторов континентальности, с уровнем доминирования тех или иных лесообразователей позволила сформировать многостраничный атлас, отражающий зонально-секторное деление с формационным, лесотипологическим, фитоценоотическим его наполнением. На основе атласа предполагается изучать возможные тренды сукцессий и оценивать степень риска существования лесных формаций и отдельных их компонентов по направлению и величине «сдвига» отдельных точек, вызванного текущим изменением климата.

В более ранней нашей публикации [3] приведены климатические параметры, определенные для лесорастительных зон, а также характеристика их состава, продуктивности, степени лесистости. В горах, где аналогами зон выступают высотно-поясные комплексы и их классы, показатели климата не идентичны зональным и существенно отличаются в сторону меньшей континентальности и большей увлажненности [2, 5].



Климатическая ординация южнотаежных, подтаежных, лесостепных и степных станций юга Сибири по средним многолетним данным на середину XX в. и произошедшее смещение климатических координат (стрелки) за период до 2007 г. (усредненные данные 1971–2007 гг.).

Секторно-зональная принадлежность климатических станций. Южная тайга и подтайга: *а* — западносибирская, *б* — среднесибирская, *в* — восточносибирская; лесостепь: *г* — западносибирская, *д* — среднесибирская, *е* — восточносибирская; *ж* — степь.

Станции: 1 — Абакан, 2 — Ачинск, 3 — Балаганск, 4 — Бея, 5 — Богучаны, 6 — Братск, 7 — Дзержинское, 8 — Ишим, 9 — Канск, 10 — Кемчуг, 11 — Колпашево, 12 — Красноярск, 13 — Кызыл, 14 — Назимово, 15 — Новокузнецк, 16 — Новосибирск, 17 — Олёкминск, 18 — Омск, 19 — Сухобузимское, 20 — Тайга, 21 — Тюхтет, 22 — Тобольск, 23 — Томск, 24 — Улан-Удэ.

На представленном нами рисунке показано расположение точек подтайги, лесостепи и степи (с дополнительным уточнением принадлежности к секторам — западносибирскому, среднесибирскому и восточносибирскому) по осям теплообеспеченности и континентальности. Исходные положения точек соответствуют средним многолетним данным по итогам на 1966–1970 гг. [12]. Стрелками показан сдвиг отдельных точек — концам стрелок соответствуют показатели, являющиеся средними для периода 1971–2007 гг. Для части точек временной диапазон будет немного иным — это связано с неполнотой новых данных [13]. Таким образом, на рисунке отражено соответствующее инструментальным данным усредненное изменение ключевых параметров климата, произошедшее с конца 1960-х гг. на юге Сибири.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

За последние 50 лет произошло достаточно значимое уменьшение континентальности (длина стрелок сопоставима с «шириной» секторов континентальности), вплоть до выхода за границы исходного для некоторой станции сектора или до приближения к границам сектора. Увеличение теплообеспеченности также значительно и сдвигает ряд станций в область, занимаемую более южной и теплой лесорастительной зоной.

Отдельные станции, для которых наблюдается иное поведение (короткие стрелки, увеличение континентальности или относительно малое потепление), подвержены, вероятнее всего, локальному климатическому влиянию водохранилищ на реках Енисей и Ангара и искусственно регулируемому стоку этих рек — это станции 5 (Богучаны), 6 (Братск), 12 (Красноярск), 14 (Назимово) (см. рисунок). Ординация точек для всей территории Сибири и аналогичное изучение накопленных изменений добавляют к ним только одну станцию Ванавара (средняя тайга Эвенкии), тогда как тренд остальных точек близок к общему (уменьшение континентальности и потепление).

По сравнению с ранними сценариями изменения климата, предполагавшими увеличение среднегодовой температуры к 2030 гг. на 2–4 °С [6, 8], можно отметить, что новые данные свидетельствуют об увеличении среднегодовой температуры в среднем на 1,33 °С для 24-х изученных и отраженных на рисунке станций (точки со стрелками). Таким образом, можно констатировать достаточно точное следование этим сценариям, по крайней мере по температурным показателям и коэффициенту континентальности, и даже с опережением для ряда станций: 1 (Абакан), 6 (Братск), 9 (Канск), 24 (Улан-Удэ) [8].

Выполненный нами прогноз с использованием технологии нейросетей позволил увидеть специфику смещения каждой из этих точек, при общем движении в сторону более теплой зоны и менее континентального сектора. Проведенные исследования подтверждают корректность такого подхода. Например, для Абакана прогнозировалось сохранение границ зоны степи и переход из резко континентального в континентальный сектор, для Братска — смещение в сторону лесостепи при сохранении границ резко континентального сектора, для Улан-Удэ — переход лесостепи в степь и крайне континентального сектора в континентальный.

Результаты прогноза, выполненного с применением нейросетевых методов [8], показывают, что при заданном изменении параметров температурного режима и небольшом увеличении норм осадков многие географические точки (зональные полигоны) приобретают биоклиматический потенциал, свойственный соседней, более южной зоне либо соседнему, менее континентальному сектору. Соответственно можно ожидать и смены состава лесообразователей, а точнее — их соотношения: усиления конкурентоспособности одних пород, ослабления других. Экспертная оценка возможных смен показала, что благодаря многомерности модели компьютерный прогноз, как правило, более обоснован, чем экспертные оценки.

И все же специалисту трудно иногда согласиться с «вероятностью» тенденций, указанных нейросетями. Так, для Канска прогнозировалось усиление континентальности при сохранении зональной принадлежности к лесостепи, что противоречило экспертным оценкам. И действительно, выявленный за 1975–2007 гг. тренд в данной точке согласуется с общим преобладающим трендом ослабления континентальности для всего юга Сибири.

Региональные особенности распределения осадков, связанные с современным потеплением, имеют различную тенденцию, и для юга Сибири не подтверждается термоаридный эффект, указанный для умеренных широт Евразии [6, 9, 10].

В целом можно заключить, что выполненное локальное (точечное) моделирование параметров климата позволяет провести сравнение данных, имеющихся на разных временных срезах для выделенных точек, и определить те из них, для которых возможна потенциальная смена растительного покрова в ответ на произошедшее изменение климата и особенно велик риск сокращения ареалов отдельных формаций вблизи их климатических границ. Вместе с тем оно позволяет также указать

направление сукцессии — в сторону большего соответствия условиям новой климатической зоны и сектора континентальности, обозначить степень воздействия пожаров на трансформацию всех компонентов сообществ и на формирование и отбор видов, наиболее устойчивых в новых условиях.

Здесь следует обратиться к региональным и локальным механизмам изменений природных экосистем, рассмотренным с позиций ландшафтоведения [9], а также к межвидовым взаимоотношениям главных пород-лесообразователей Сибири, устойчивость которых в значительной степени определяется климатическим режимом в конкретных ландшафтных зонах и секторах [3]. Предварительные результаты прогноза заставляют глубже вникать и в проблему взаимоотношений светлохвойных и темнохвойных пород (см. табл. 2).

Рассматривая устойчивость светлохвойных формаций (сосновой, лиственничной) в среднесибирском секторе в зоне подтайги, следует констатировать, что благодаря частым пожарам она была и пока сохраняется высокой: темнохвойный подрост из пихты, ели и кедра уничтожается периодически действующими низовыми пожарами, тогда как сосна, осина и особенно береза получают преимущество и даже отвоевывают место у темнохвойных. Если для соснового и лиственничного подроста важна минерализация почвы после пожаров, поскольку травяной покров препятствует прорастанию семян, то для березы и осины, обладающих активной способностью к вегетативному возобновлению наряду с семенным, нет препятствия к поселению и доминированию даже в травяных сериях типов леса, господствующих в подтайге и лесостепи.

В целом потепление климата и снижение континентальности создают преимущества для березы и осины, в меньшей степени для сосны. И наоборот, лиственница сибирская будет снижать свое доленое участие в среднесибирской подтайге при ослаблении континентальности. Она вытеснится либо сосной, либо темнохвойными и мелколиственными породами в силу своих биологических особенностей: высокого светолюбия, относительно низкой семенной продуктивности, недалекого разлета семян вследствие их тяжести. Этот процесс вытеснения лиственницы сибирской из местообитаний, пригодных для существования других пород, можно видеть на примере приенисейской низкогорной части Восточного Саяна, где он протекает на протяжении последних двух веков.

Южнотаежные сосняки, широко представленные на Среднесибирском плоскогорье в непосредственном контакте с подтайгой, будут приобретать черты подтаежных — по составу и структуре нижних ярусов, т. е. в них будет происходить (и уже происходит) обогащение элементами мезофильного лугово-лесного разнотравья и даже лесостепными видами, что стирает грань между южной тайгой и подтайгой как зональными категориями лесного покрова.

Фактором, ускоряющим изменение структуры и биоразнообразия лесов, кроме рубок, уже прошедших на огромных площадях, и лесных пожаров, является распространение очагов энтомофитов. Все эти процессы в совокупности ведут к расширению площадей производных растительных сообществ: мелколиственных лесов, представленных березняками и осинниками с участием сосны, лиственницы сибирской, в меньшей степени кедра, ели и пихты, а также зарослей кустарников, травянистой растительности. То, что эти процессы уже реализуются и идут сходными путями на больших площадях по всей южной границе бореальной области Сибири, несмотря на огромное разнообразие ландшафтной структуры, подтверждается многочисленными исследованиями последних лет [15–18].

Контакт подтайги и лесостепи в значительной степени нарушен антропогенным воздействием (произошла фрагментация лесных массивов и увеличилась доля мелколиственных формаций за счет светлохвойных, а также за счет ельников, сохраняющихся в интразональных местообитаниях, по долинам). За происходящими изменениями может остаться незамеченной роль климатогенной сукцессии, которая приводит к сходным результатам. Как пример можно привести расширение сосново-березовых орляково- и осочково-разнотравных типов леса на серых лесных почвах по периферии сосновых боровых массивов в Красноярской и Ачинской лесостепи.

В качестве варианта совершенно неожиданной ответной реакции соснового бора, направленной на поддержание устойчивости всей экосистемы в условиях потепления и увеличения зимнего увлажнения (с 80 до 140 мм за 40 лет), можно указать скачкообразное (с 1990-х гг.) замоховение Погорельского бора (около 400 га) на границе Красноярской лесостепи и подтайги: разнотравно-брусничные сосняки трансформировались в бруснично- и разнотравно-зеленомошные [19]. Процесс замоховения отмечается также и в ряде урочищ Минусинских сосновых боров, где в 2009 г. по сравнению с 1970 г. мощность мохового слоя в бруснично-разнотравно-зеленомошных сосняках разного возраста увеличилась в 5–7 раз.

Это говорит о том, что существуют обратные связи в лесных экосистемах, препятствующие внешним воздействиям и поддерживающие лес в устойчивом состоянии вблизи границ его климатического ареала и даже за его пределами. Так, интразональные Минусинские лесостепные боры, как и Погорельский бор, при отсутствии верховых пожаров сохраняются и успешно возобновляются, доказывая своим существованием наличие сильных обратных связей в зрелых лесных экосистемах, и это нельзя игнорировать при прогнозе возможных смен на перспективу середины или конца XXI в.

Обращаясь к истории растительного покрова юга Сибири [20], нельзя не отметить, что границы южной тайги, подтайги и лесостепи сдвигались, при сохранении всех указанных зональных категорий и основного состава слагающих их формаций на протяжении ряда тысячелетий. Поэтому говорить об антропогенном происхождении подтайги — зоны светлохвойных травяных лесов — было бы ошибкой, хотя в последние века человек способствовал ее расширению. Вполне вероятно, что в геологическом прошлом она имела еще большее географическое распространение, а позже была отодвинута распростиравшимися темнохвойными формациями — пихтовой и смешанной темнохвойной [20].

Участие лиственницы в составе темнохвойных массивов на водоразделах Приангарья, на восточных склонах Кузнецкого Алатау и в приенисейской части Западного и Восточного Саян можно рассматривать как реликтовый признак необратимой вековой сукцессии, контролируемой климатом. В настоящее время в низкогорной подтайге повсеместно усиливаются позиции сосны и мелколиственных пород — березы и особенно осины, а в травяном покрове — мезофильного лугово-лесного разнотравья, местами — крупнотравья, и вытеснение ими таежных видов трав и кустарничков.

Прогноз потенциального состава лесной растительности в новых климатических условиях, базирующийся на различных сценариях климата (либо увлажнение, либо иссушение климата) вполне надежен и часто не имеет альтернативы в отношении направления сукцессии. Однако точный ход и последовательность стадий сукцессии будут зависеть от многих конкретных условий: возрастного состояния, давности и силы предыдущего пожара, состава смежных экосистем, семенных лет (особенно для лиственницы). При прогнозе лесных сукцессий необходимо учитывать следующее.

1. Состав главных лесообразующих пород на южной окраине бореальной зоны Сибири ограничен 8 видами, которые почти все (исключение может представлять пихта) имеют широкие диапазоны толерантности к экологическим (климатическим) факторам. Лимитирующим их распространение на юге Сибири является недостаток увлажнения: атмосферного (кедр, пихта и далее остальные лесообразователи) или почвенного (ель).

2. Фитоценотический оптимум вида всегда уже экологического, поэтому необходимо рассматривать конкурентные взаимоотношения видов между собой, а также взаимодействия с другими компонентами биоты как один из главных механизмов климатогенной сукцессии.

3. Стратегии поведения видов-лесообразователей достаточно универсальны и выработаны эволюционным путем. Они не изменятся за короткий срок. Знание их позволяет выстраивать прогноз климатогенной сукцессии на широком географическом фоне.

4. Секторно-зональное деление территории Сибири позволяет определить, какие сочетания лесообразователей реализованы в ходе многовековых смен и, соответственно, устойчивы в том или ином зональном типе ландшафта.

5. Условия новой климатической обстановки оставляют практически неизменными многие ландшафтные характеристики, в частности геоморфологические, литологические, определяющие латеральные материально-энергетические потоки. Это вносит большое разнообразие в отклик экосистем на климатический сигнал на локальном уровне.

Использованный принцип точечного прогнозирования, в отличие от компьютерного моделирования смещения 17 секторно-зональных классов растительности на территории Сибири при разных сценариях потепления климата [6], сразу переводит решение поставленной задачи в контекст, требующий учета параметров не только климата, но и всех других компонентов ландшафта — почвенно-гидрологических условий, геоморфологии, пирологического режима, степени нарушенности территории. Каждый ландшафт (как конкретная точка или область многомерного пространства) будет реагировать, исходя из региональных и локальных особенностей природных условий территории. При этом характеристики рельефа, литологии, состава почвообразующих пород не меняются с той же скоростью, что и климат, это относительно стабильная основа ландшафта.

В итоге смены биоклиматического (= лесорастительного) потенциала ведут к множеству новых состояний. Однако в конечном счете они будут конвергировать к немногим устойчивым состояниям, имеющим статус «эпиассоциаций», «эпифаций». Эти устойчивые состояния, выделяемые геоботаниками и ландшафтоведами [16–18, 21], оказываются крайне важными для моделирования потенциальных экосистем, которые, как известно, функционируют в ландшафтах и потому зависимы от их динамики и эволюции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из концепции лесорастительной (природной) зоны как квазиравновесной биоклиматической системы, предложен метод прогнозирования состава потенциальной зональной лесной растительности с использованием информационной системы «БИОМ». Установлены ключевые параметры, по которым на современном уровне знаний о прогнозируемом климате имеет смысл давать долго-

срочный прогноз состояния (устойчивости) зональных лесных экосистем и направления возможных смен. Он будет касаться не только состава лесообразователей, но и многих других связанных с ним характеристик: сезонного функционирования, продуктивности и биоразнообразия.

Акцент сделан на преимуществе точечного подхода, имеющего дело с конкретной ландшафтной обстановкой в каждой точке. Хотя он не определяет всю картину будущей географии лесного покрова, однако подтверждает прежние выводы о возможной смене потенциальной растительности в ответ на изменения климата для юга Сибири с учетом зонального и секторного положения точек (полигонов).

Нельзя не учитывать и действие механизмов обратных связей, поддерживающих в устойчивом состоянии часть экосистем исходного (материнского) ландшафта, для которых еще не наступил «критический час». Здесь необходимо обратиться к анализу взаимоотношений видов-эдификаторов лесных сообществ — сибирских видов-лесообразователей, для которых определены лимитирующие пороговые значения важнейших факторов среды и составлены экологические шкалы. Биоклиматическая модель хвойных и лиственных формаций Сибири, используемая в сочетании с экологическими шкалами видов, дает представление об устойчивости лесных зональных формаций и реакции их на протекающие процессы.

Эти исходные материалы послужат основой для прогноза ответных реакций лесных экосистем на изменения климата на зональном и региональном уровнях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (08–04–00600а) и программы СО РАН «Биологическое разнообразие» (23.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Исаченко А. Г.** Ландшафтное районирование России как основа для эколого-географического анализа и прогноза // Изв. РГО. — 1996. — Т. 128, вып. 5. — С. 12–24.
2. **Биоразнообразие** и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование / Отв. ред. В. К. Шумный, Ю. И. Шокин, Н. А. Колчанов, А. М. Федотов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. — 648 с.
3. **Поликарпов Н. П., Назимова Д. И., Андреева Д. И., Софронов М. А.** Формационный состав лесных зон Сибири как отражение взаимодействия лесообразователей // Лесоведение. — 1998. — № 4. — С. 3–11.
4. **Krajina V. G.** Biogeoclimatic zones and biogeocoenoses of British Columbia. — Ecol. West. N. Amer., 1965. — 146 p.
5. **Ecosystems of British Columbia** / Eds. D. Meidinger, J. Pojar: Special report series 6, Research Branch Ministry of forests. — Victoria, 1991. — Vol. 31. — 330 p.
6. **Tchebakova N. M., Monserud R. A., Leemans R., Nazimova D. I.** Possible Vegetation Shifts in Siberia under Climatic Change // The Impact of Climate Change on Ecosystems and Species: Terrestrial Ecosystems / Eds. J. Pernetta, R. Leemans, D. Elder, S. Humphrey. — IUCN, 1995. — P. 67–83.
7. **Kirilenko A. P., Solomon A. M.** Modeling dynamics vegetation response to rapid climate change using bioclimatic classification // Climat. Change 38. — 1998. — P. 15–49.
8. **Назимова Д. И., Ноженкова Л. Ф., Царегородцев В. Г.** Прогнозирование смены растительного покрова по признакам климата с использованием нейросетей // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. — Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. — С. 337–346.
9. **Коломыц Э. Г.** Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. — М.: Наука, 2008. — 427 с.
10. **Чебакова Н. М.** Возможная трансформация растительного покрова Сибири при различных сценариях изменения климата: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Красноярск, 2006. — 60 с.
11. **Аненхонов О. А., Кривобоков Л. В.** Тенденции изменения флористического состава лесной растительности Северного Прибайкалья при потеплении климата // Экология. — 2006. — № 4. — С. 280–286.
12. **Справочник по климату СССР.** — Л.: Гидрометеиздат, 1966–1970. — Вып. 19–24.
13. <http://www.ncdc.noaa.gov>
14. **Высоцкая Г. С.** Пространственное распределение трендов климатических параметров (XX век) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений природной среды в позднем кайнозое Сибири. — Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002. — Вып. 1. — С. 83–86.
15. **Соколов В. А., Фарбер С. К.** Возобновление в лесах Восточной Сибири. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. — 218 с.
16. **Географические исследования в Сибири. Т. 4: Полисистемное тематическое картографирование** / Под ред. А. К. Черкашина. — Новосибирск: Гео, 2007. — 412 с.
17. **Нечаева Е. Г., Давыдова Н. Д., Щетников А. И. и др.** Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. — Новосибирск: Наука, 2004. — 184 с.
18. **Кузьменко Е. И., Михеев В. С.** Эколого-географические и картографические основы комплексного изучения лесов Сибири. — Новосибирск: Гео, 2008. — 205 с.

19. **Бугаева К. С.** Структура и динамика лесной растительности Погорельского бора (Красноярская лесостепь): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Красноярск, 2009. — 18 с.
20. **КошкарOVA В. Л.** Развитие растительности и климатические условия на территории Минусинской межгорной впадины в голоцене (по материалам палеокарпологии) // География и природ. ресурсы. — 2004. — № 2. — С. 84–89.
21. **Белов А. В., Безрукова Е. В., Соколова Л. П.** Эволюционно-динамическое картографирование растительности Сибири для целей прогнозирования // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 1. — С. 10–20.

Поступила в редакцию 30 сентября 2009 г.
