

ПРОГНОЗ ПРОДВИЖЕНИЯ ГРАНИЦ ЛЕСА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА К КОНЦУ 20 ВЕКА В СРЕДНЕЙ СИБИРИ*

Н. М. ЧЕБАКОВА, Е. И. ПАРФЕНОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

e-mail: ncheby@forest.akadem.ru, lyeti@forest.akadem.ru

Instrumental measurements of the air temperature and annual precipitation during the 20 century across the Central Siberia show that climate warming is at least 1 °C from 1950 to 2000. Precipitation variation appears to be more complicated: –4–8% in the south to –10% in the north. Climate change by the end of the 20 century may cause “hot spots” in the vegetation cover. “Hot spots” locations predicted by numerical modeling are confirmed by data available in literature.

Введение

М.И. Будыко в 60–70-х гг. прошлого века показал, что человек оказывает мощное воздействие на изменение глобального климата через увеличение содержания углекислого газа в атмосфере, рост производства энергии, увеличение концентрации атмосферного аэрозоля [1]. К концу 20 в. мировое научное сообщество пришло к заключению о реальности потепления климата, что нашло отражение в многочисленных научных трудах, создании Межправительственной комиссии по изменениям климата (IPCC), публикующей ежегодные научные отчеты. По инструментальным измерениям глобальная температура увеличилась на 0.6 ± 0.2 °C в течение прошлого века, который был самым теплым за последние 1000 лет, а десятилетие 1990–1999 и 1998 г. были самыми теплыми [2]. Особенно резкое потепление отмечено с начала 80-х гг. Наибольшее текущее потепление зафиксировано на высоких широтах Северного полушария, особенно в зимнее время. 21 в. по прогнозам будет на 2...10 °C теплее 20 века. Как следует из реконструкций палеоклиматов, температура будет повышаться со скоростью, беспрецедентной для голоцена [2]. Региональные исследования в Сибири также регистрируют изменения климата [3–5] и, в частности, подтверждают потепление климата и увеличение увлажненности в конце 20 в. и особенно за 1991–2000 гг.

К настоящему времени уже накоплен большой объем доказательств изменений абиотических и биотических реакций в растительном и животном мире на эти изменения в окружающей среде под влиянием глобального потепления. Уменьшаются размеры полярных льдов и горных ледников, они отступают и даже исчезают; уменьшаются площади

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-05-65127).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2006.

снежного покрова зимой; увеличиваются температуры почвогрунтов, особенно в мерзлотной зоне, которые способствуют таянию вечной мерзлоты; таяние, в свою очередь, может вызвать болотообразование или увеличение стока, ведущего к повышению уровня моря; увеличиваются количество и площади лесных пожаров и т. д. [2]. В биоте происходит реструктуризация растительного покрова: границы леса продвигаются на север на равнине и вверх в горах; с юга наступают степи; за счет увеличения безморозного и вегетационного периодов происходят изменения различных фенологических сроков, нарушения в циклах семеношения, вспышки численности насекомых и т. д. В условиях резкого потепления климата многие растительные виды и экосистемы не будут успевать адаптироваться к изменениям внешней среды. Наиболее серьезные последствия потепления окажет на экосистемы бореальной зоны. По модельным оценкам такое потепление создаст угрозу опустынивания степей и исчезновения тундр, а также вызовет перестройку всех иерархических уровней лесной растительности — от зональных лесов и лесных экосистем до лесообразующих пород и их популяций [6–8].

Цель нашей работы — показать, каких величин изменение климата достигло к концу 20 в. в Средней Сибири (Красноярский край, Хакасия и Тыва), и определить локализации наибольших изменений, так называемые “горячие точки” (hot spots), где следует ожидать первых проявлений в изменении растительного покрова.

1. Методы

Рассматриваются две крупные территории в пределах Красноярского края, Хакасии и Тывы: приподнятое Средне-Сибирское плоскогорье ($56\text{--}75^\circ$ с.ш. и $85\text{--}105^\circ$ в.д.), названное ниже севером, и горы Южной Сибири ($50\text{--}56^\circ$ с.ш. и $89\text{--}96^\circ$ в.д.), названные ниже югом. Изменение климата анализируется по трем основным показателям, характеризующим термические условия зимы и лета (температуры января и июля) и увлажнение (годовое количество осадков). Как следует из Обобщенного доклада “Изменение климата, 2001” [9], рубежом, после которого аномалии температур в Северном полушарии стали только положительными, явился 1980 г. Поэтому мы рассчитали средние значения температур января и июля и годового количества осадков за 20-летний период с 1981 по 2000 г. для 100 станций Красноярского края, Хакасии и Тывы примерно по 50 станций для севера и юга, разграниченных 56-й параллелью. Покрывание территорий станциями составляло примерно одну станцию на 8 квадратных градусов (или 45 000 кв. км) на плоскогорной части Средней Сибири и одну станцию на один квадратный градус (или 7500 кв. км) на горной территории с учетом того, что площадь градуса на севере примерно в 1.5 раза меньше, чем на юге.

Изменение климата оценивалось по отклонениям средних за 20-летний период (1981–2000 гг.) от средних многолетних за 80-летний период (1881–1960 гг.), по данным справочников и ежемесячников [10]. Значимость различий (аномалий) температур и осадков между этими периодами, оцененная по критерию Стьюдента, была достоверна на уровне 0.02. Для нахождения локализаций текущих изменений в лесном покрове Средней Сибири сначала были построены электронные карты климатических индексов: сумм температур и индекса увлажнения для двух периодов — 1881–1960 гг. и 1980–2000 гг. Затем совмещением климатического пространства распространения лесов, определяемого границей между лесом и тундрой, равной сумме градусодней 300°C , и границей между лесом и степью, равной индексу увлажнения 3.3 [6], с картами климатических индексов за периоды

1881–1960 гг. и 1980–2000 гг. получены карты распределения лесов за эти периоды. Различия в этих картах демонстрируют локализации “горячих точек” в лесном покрове Средней Сибири, в которых могут начаться изменения к концу 21 в. (рис. 1, *з* и 2, *з*).

2. Результаты и обсуждение

Согласно исследованиям многих авторов, изменение климата летом и зимой стало очевидным к концу 20 в. в Северной Евразии [11–15]. Несмотря на различные периоды осреднения для получения средних или трендов изменений температур и осадков, в этих исследованиях в целом отмечается потепление климата во второй половине 20 в. и особенно в его последнем десятилетии. Также указывается на более существенное потепление зимой. В частности, на территории Средней Сибири зарегистрированы максимальные аномалии 2...4 °С зимой и 0.5 °С летом [14]. Более детальный анализ трендов изменения температур на двух внутриконтинентальных станциях на севере Средней Сибири показал, что изменения температур положительны и их рост составляет 0.5 °С в течение 1980–2000 гг. летом. Зимой никаких аномалий не отмечено [15]. На юге Средней Сибири [3] и юге Западной Сибири [5] тренды изменения средних годовых температур соответственно равны 0.4...1.5 °С и 0.2...1.2 °С. Отмечено небольшое увеличение осадков в умеренных широтах в конце 20 столетия [5, 15].

Наш анализ изменений температур зимой и летом и годового количества осадков на территории Средней Сибири показал, что на севере в течение 1980–2000 гг. зимы потеплели на 1 °С и даже более на Крайнем Севере в сравнении с периодом до 1960 г. (см. рис. 1, *а*). К югу от 56 параллели, особенно в горах, зимнее потепление оказалось даже более существенным — до 2...4 °С (рис. 2, *а*). Летнее потепление было таким же, как и зимнее, — на 1.0 °С на севере и юге в сравнении с периодом до 1960 г. с высоким уровнем достоверности (см. рис. 1, *б* и 2, *б*).

Изменение вегетационного периода с температурами выше 5 °С (L_5) за 20 последних лет 20 в. оценивалось по его зависимости от температур июля (T_7) и января (T_1)

$$L_5 = 25.3 + 1.14 T_1 + 7.85 T_7$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.96$ и ошибкой расчета 5.6 дней для выборки 145 станций для всей Сибири.

К 2000 г. вегетационный период увеличился на несколько дней (до одной недели) на севере и на 1–2 недели на юге, причем на 2–6 дней в более влажном климате и на 7–15 дней — в более сухом.

Динамика изменения осадков более сложная. В основном на территории Средней Сибири количество осадков уменьшилось к концу века: на 4–8% — на юге и до 10% — на севере (см. рис. 1, *в* и 2, *в*).

Текущие изменения в растительном покрове Средней Сибири, связанные с изменением климата к концу 20 в. Уже произошедшие изменения климата к концу 20 в. (см. рис. 1 и 2) должны указать на территории так называемые “горячие точки”, где следует в первую очередь ожидать изменений растительности. Мониторинг южной и северной границ леса на равнине и, соответственно, верхней и нижней границ в горах является простым и эффективным методом доказательств последствий климатических изменений для растительного покрова [16]. В горах легче проводить такой мониторинг, поскольку

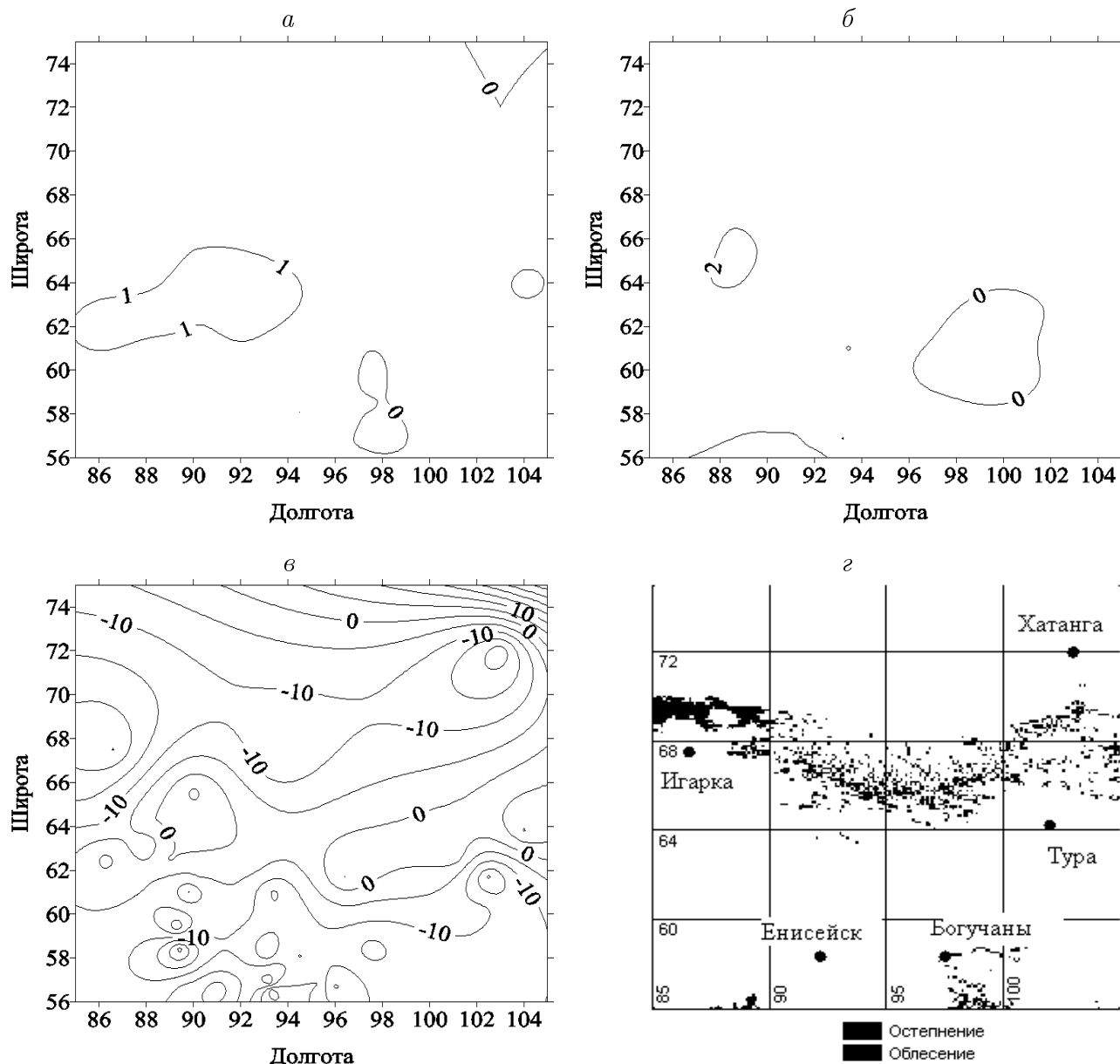


Рис. 1. Локализация аномалий январской (а), июльской (б) температур и годовых осадков (в) и "горячих точек" возможных сдвигов лесной зоны (г). Северная часть, выше 56° с.ш.

продвижение границ происходит на расстоянии сотен метров, а не сотен километров, как на равнинах.

Совместив климатическое пространство лесов, определяемое границей между тундрой и лесом суммой градусодней, равной 300 °С, и границей между лесом и степью, равной индексу увлажнения 3.3, с климатическими слоями за периоды 1881–1960 гг. и 1980–2000 гг., мы получили распределения лесов в Средней Сибири за эти два периода. Различия в них показывают локализацию "горячих точек" к концу 20 в. (см. рис. 1, г и 2, г), в которых могут происходить структурные изменения в лесной растительности. В литературе мы нашли подтверждение таким явлениям, как продвижение леса в тундру, появление темнохвойного подроста или формирование массивов темнохвойных молодняков в лиственничной тайге и др.

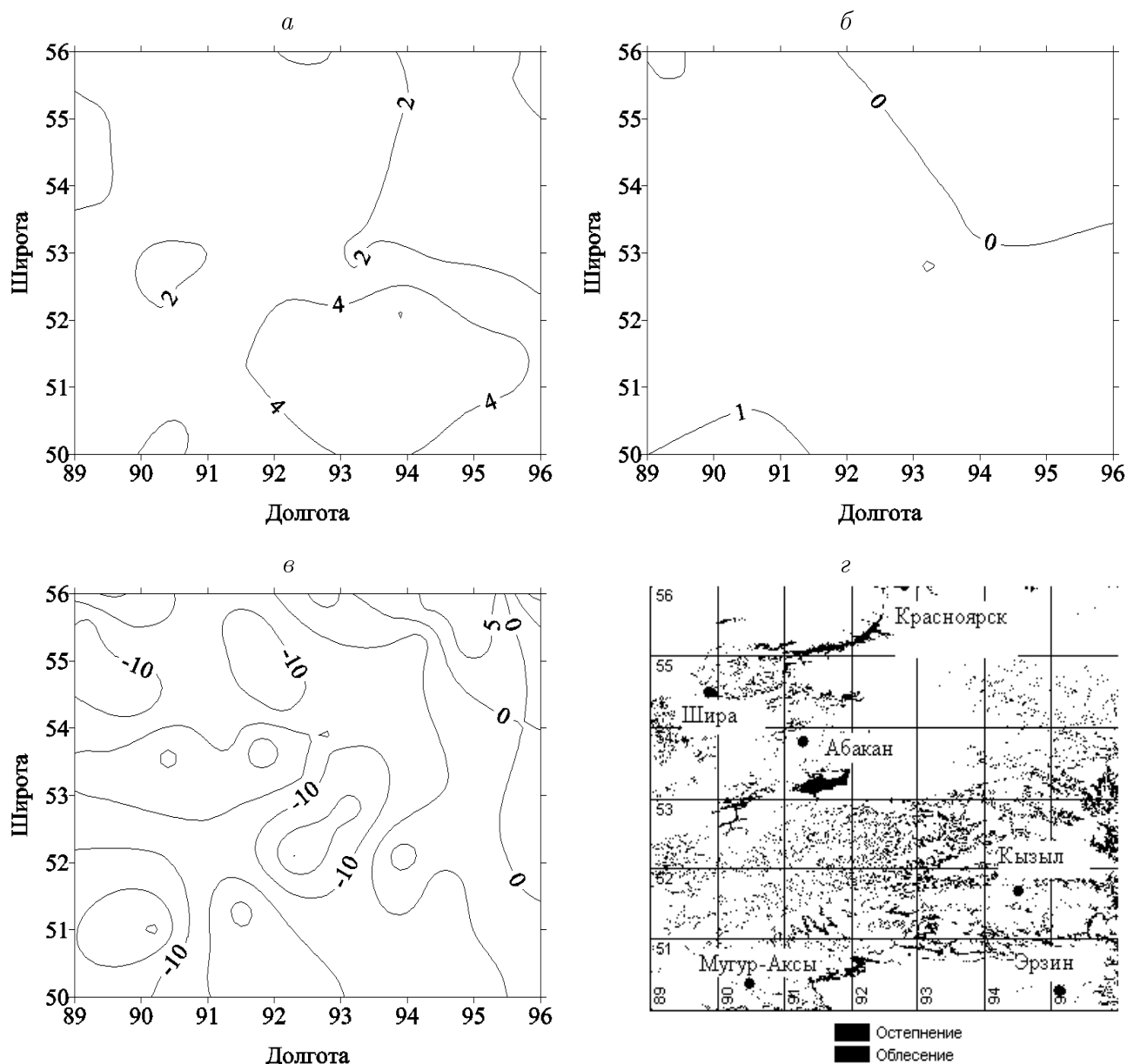


Рис. 2. Локализация аномалий январской (а), июльской (б) температур и годовых осадков (в) и “горячих точек” возможных сдвигов лесной зоны (г). Южная часть, ниже 56° с.ш.

На севере “горячим местом” является полоса, которая начинается в долине Енисея около 70° с.ш. и далее окаймляет с юга плато Путорана, где продвигается северная граница леса. На примере самого северного массива леса в урочище Ары-Мас показано, что за последние 40 лет лес продвинулся в тундру: тундра зарастет рединами леса, редины превращаются в редколесья, а редколесья становятся более сомкнутыми (с полнотой 0.3). Установлено также, что за последние 20 лет в северной тайге с преобладанием лиственницы Гмелина (Эвенкия) появился темнохвойный подрост из кедра, ели и пихты [17, 18].

В горах смоделирован подъем верхней границы леса. А.П. Абаимов и др. отмечают наступление леса на горную тундру на плато Путорана, которое происходит уже в течение 50 лет путем естественного возобновления лиственницы на верхней границе леса [19]. В.В. Иванов обнаружил массивы подроста кедра и пихты 40–50-летнего возраста в доли-

нах небольших рек у подножий плато Путорана, в 500 км от их современной северной границы. Вероятно, вслед за отступлением вечной мерзлоты темнохвойные породы возобновляются по речным долинам и вокруг озер.

К югу около 56–58° с.ш. в районе Приангарья моделируются небольшие пятна остепнения, которых до недавнего времени не было севернее 56° с.ш. (см. рис. 1, з). Южнее 56° с.ш., в Хакасии, должны значительно расширяться площади степей в целом (см. рис. 2, з) и сухих степей в частности. Отступление леса в связи с засушливостью климата следует также ожидать в Тувинской котловине. На фоне общего уменьшения атмосферного увлажнения можно отметить локальное увеличение почвенного увлажнения. В.И. Власенко, например, связывает с подъемом грунтовых вод появление 10–15-летних молодняков из сосны и лиственницы в степи и на опушках остепненных лесов в прибрежных районах Саяно-Шушенского водохранилища [20]. Наступление леса на степь в лесостепном экотоне алтае-саянских предгорий также объясняется неклиматическим фактором — вне антропогенного пресса климатические условия пока благоприятствуют восстановлению лесной растительности. Однако с потеплением и увеличением засушливости климата лес, как следует из прогнозов, будет отступать.

В горах Южной Сибири (Западный и Восточный Саян, Кузнецкий Алатау, хребты Тывы) можно ожидать массивного продвижения верхней границы леса (см. рис. 2, з). По литературным данным, на Алтае, Западном Саяне, Кузнецком Алатау зарегистрирован подъем верхней границы леса. На Алтае вслед за отступлением ледников Большого и Малого Актру морены колонизируются деревьями лиственницы сибирской и кедра [21–23].

На нижней границе леса, в черневой тайге Западного Саяна, отмечено плохое возобновление кедра в период 1990–1999 гг. — самое теплое десятилетие 20 в. П.М. Ермоленко связывает этот факт с возможным увеличением популяции огневки *Diorystria abietella* (Schft.), которая повреждает семена кедра [24]. Установлено, что огневка может давать две генерации в течение длинного вегетационного периода. Отмечено отступление вечной мерзлоты вокруг озера Хубсугул в Монгольской части гор [25], что также создает условия для возобновления кедра, ныне там отсутствующего.

Очевидно, что при потеплении климата растительные зоны не будут сдвигаться как единое целое. Процесс формирования зон сложный и, как следует из палеогеографии, на равнинах занимает тысячелетия [26]. Процесс миграции древесных растений особенно сложный и длительный, так как проходит в несколько этапов: разнос семян, их прорастание и закрепление в данном местообитании, затем развитие молодняков в спелые древесостой. На основании данных палеоэкологических реконструкций ареалов видов показано, что при быстрых изменениях климата можно ожидать скоростей миграции до 500 м в год [27]. В горах процесс формирования лесных поясов за счет миграции видов происходит быстрее, поскольку скорости миграции соизмеримы с шириной высотной зоны — 500...1000 м. Однако освоение высокогорий древесной растительностью будет ограничено почвенным фактором — а именно неразвитостью почв. На равнине древесные виды должны преодолеть расстояния не менее 500 км в ближайшие сто лет, что на порядок больше, чем скорости миграции отдельных видов. Растения с широкой экологической амплитудой и высокой скоростью миграции смогут адаптироваться к быстрым изменениям климата. Кроме того, в настоящее время появилась возможность разноса семян на огромные расстояния с помощью транспортных средств [2].

В Сибири видовой состав древесных пород-эдикаторов ограничен несколькими породами, которые обычно распространены во всех лесных подзонах (северной, средней, южной тайге и подтайге). Поэтому перестройку внутри подзон (например, северной тай-

ги в среднюю, средней — в южную и т. д.), обусловленную потеплением климата, можно представить не столько за счет поступательного движения (миграции), сколько за счет интенсификации процессов в лесу: увеличения производительности, усиления плодоношения, возобновления, конкуренции за климатический ресурс, изменений в напочвенном покрове и т. д. Возможно, по такому сценарию произошло значительное увеличение фракции стволовой древесины и корней в северной тайге Сибири, отмеченное к концу 20 в. и связанное с потеплением [28], а также увеличение сомкнутости северных лесов и редколесий в Эвенкии [18]. Только за счет миграции будут, видимо, осваиваться лесом тундровые пространства на северной границе леса, продвижение которой будет идти значительно медленнее, чем это смоделировано по климатическому сценарию. Южную границу леса будут формировать пожары. Лесные пожары и таяние вечной мерзлоты — механизмы, которые будут создавать новый облик растительных зон. И.П. Поликарпов и др. рассматривают современные тенденции смены темнохвойных пород сосной в засушливом климате и лиственницей на холодных и мерзлотных почвах вследствие пожаров в качестве аналога перестройки зональной растительности при потеплении климата. Темнохвойные породы переместятся на север и восток, а переходная полоса между темно- и светлохвойными формациями будет представлена длительно-производными березняками и смешанными хвойно-лиственными насаждениями [29]. Н.А. Завельская и др. также прогнозируют продвижение северной границы тайги на север и древесной растительности — в тундру, прежде всего по долинам крупных рек. С увеличением пожарной опасности преимущество в расселении получают сосна и лиственница, а с увеличением слоя протаивания в зоне сплошной вечной мерзлоты ель и сосна будут успешно конкурировать с лиственницей [30]. А.И. Уткин и др. прогнозируют возможное освоение тундры лесообразователями через стадию кустарников. Деревья и кустарники из долин поднимутся на водоразделы и сначала образуют островные участки леса [31].

В Западной Сибири при достаточном увлажнении ель будет вытеснять лиственницу, а в низовьях Енисея и Восточной Сибири шансы ели и лиственницы уравниваются в отсутствие пожаров. Протаивание вечной мерзлоты вызовет термокарстовые явления на больших территориях. А.П. Абаимов и др. рассмотрели тенденции развития лесного покрова в криолитозоне при потеплении климата на фоне достаточного и недостаточного увлажнения. При потеплении, сбалансированном увлажнении, можно ожидать увеличения доли ели и березы в составе леса. Возобновление темнохвойных пород под пологом лиственницы может привести к расширению их ареала на север. Однако избыточное увлажнение может вызвать солифлюкцию на больших площадях. В сухом климате потепление приведет к увеличению частоты и площадей катастрофических пожаров, что в свою очередь может вызвать более частые проявления солифлюкции и термокарстовые образования, уничтожающие лес. При отступлении вечной мерзлоты, которая в современном климате обеспечивает влагу для произрастания лесов в местообитаниях зональных степей, вместо лесов должны появиться степи в условиях хорошего стока или болота в условиях слабого стока в некоторых формах рельефа [19, 32].

В Сибири к концу 20 в. отмечены увеличение частоты и площади лесных пожаров в связи с потеплением климата [33, 34]. Отмирание деревьев на южной границе леса, вызванное недостатком увлажнения при потеплении климата, приведет к накоплению огромного количества горючих материалов, которые совместно с увеличением частоты пожаров и уменьшением межпожарного интервала создадут потенциал для усиленной горимости лесов. В итоге при изменениях в лесном покрове Сибири, вызванных потеплением климата, общая лесная площадь, разрушенная пожарами, может достигнуть 30 млн га [35].

Заключение

Анализ данных инструментальных измерений температур воздуха и годового количества осадков в течение 20 в. на территории Средней Сибири показал, что зимы на севере потеплели на 1 °С с пятидесятых годов до конца 20 века. На юге, особенно в горах, зимнее потепление оказалось даже более существенным — до 2...4 °С. Летнее потепление было одинаковым на севере и на юге — на 1.0 °С. К 2000 г. вегетационный период увеличился почти на одну неделю на севере и на 1–2 недели на юге, причем на 2–6 дней в более влажном климате и на 7–15 дней — в более сухом. Динамика изменения осадков оказалась более сложной: в целом количество осадков уменьшилось на 4–8 % на юге и до 10 % — на севере.

Произошедшие изменения климата к концу 20 в. позволили определить локализации возможных изменений (“горячие точки”) в растительном покрове: продвижение северной границы леса на плоскогорьях севера и верхней границы леса в горах юга Средней Сибири. В связи с засушливостью климата, особенно в межгорных котловинах на юге, должны значительно расшириться площади степей за счет отступления леса в горы. Модельные локализации горячих точек подтверждаются данными литературы.

Список литературы

- [1] Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
- [2] IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. N. Y.: Cambridge Univ. Press, 2001. 881 p.
- [3] БАЖЕНОВА О.И., МАРТЬЯНОВА Г.Н. Оценка изменений геоэкологических условий субаридных районов Сибири при современном потеплении климата // География и природные ресурсы. 2000. № 4. С. 51–58.
- [4] БАРАШКОВА Н.К., ЗАДЕ Г.О., КАБАНОВ М.В., СЕВАСТЬЯНОВ В.В. Современные тенденции климатических изменений в южной части Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2000. № 3. С. 77–82.
- [5] ЗИНЧЕНКО Г.С., СУТОРИХИН И.А., БЕЗУГЛОВА Н.Н. Многолетние колебания температуры воздуха и атмосферных осадков в Алтайском крае // География и природные ресурсы. 2004. № 4. С. 142–147.
- [6] ЧЕБАКОВА Н.М., РЕФЕЛЬДТ ДЖ., ПАРФЕНОВА Е.И. Перераспределение растительных зон и популяций лиственницы сибирской и сосны обыкновенной в Средней Сибири при потеплении климата // Сиб. эколог. журн. 2003. № 6. С. 677–686.
- [7] REHFELDT G.E., TCHEBAKOVA N.M., MILYUTIN L.I. ET AL. Assessing population responses to climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with climate-transfer models // Eurasian J. of Forest Research. 2003. Vol. 6–2. P. 3–23.
- [8] TCHEBAKOVA N.M., REHFELDT G.E., PARFENOVA E.I. Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and *Pinus sylvestris* and their climatotypes in Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2005. N 11. P. 861–882.

- [9] ИЗМЕНЕНИЕ климата, 2001 г. Обобщенный доклад / Под ред. Р.Т. Уотсона и др. МГЭИК, ВМО, ЮНЕП, 2003. 800 с.
- [10] СПРАВОЧНИКИ и ежемесячники по климату за 1967, 1970, 1990.
- [11] КАБАНОВ М.В. Современные природно-климатические изменения в Сибири // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Ин-т археологии и этнографии СО РАН. 2002. Вып. 2. С. 234–241.
- [12] ВЫСОЦКАЯ Г.С., ДМИТРИЕВ А.И., НОЖЕНКОВА Л.Ф., ШИШОВ В.В. Пространственное распределение трендов климатических параметров (XX век) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири: Сб. науч. тр. / РАН. Сиб. отд-ние. Ин-т археологии и этнографии. Вып. 1. 2002. С. 83–86.
- [13] АНИСИМОВ О.А., БЕЛОЛУЦКАЯ М.А., ЛОВАНОВ В.А. Современные изменения климата в области высоких широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. 2003. № 1. С. 18–30.
- [14] ЕФИМОВА Н.А., ЖИЛЬЦОВА Е.Л., ЛЕМЕШКО Н.А., СТРОКИНА Л.А. О сопоставлении изменений климата в 1981–2000 гг. с палеоаналогами глобального потепления // Метеорология и гидрология. 2004. № 8. С. 18–22.
- [15] ПОНОМАРЕВ В.И., КАПЛУНЕНКО Д.Д., КРОХИН В.В. Тенденции изменений климата во второй половине XX века в Северо-Восточной Азии, на Аляске и северо-западе Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2005. № 2. С. 15–26.
- [16] ШИЯТОВ С.Г., МАЗЕПА В.С., МОИСЕЕВ П.А., БРАТУХИНА М.Ю. Изменения климата и их влияние на горные экосистемы национального парка “Таганай” за последние столетия // Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ долговременных наблюдений / Под ред. А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина. М., 2001. С. 16–33.
- [17] ХАРУК В.И., ИМ С.Т., РЭНСОН К.ДЖ., НАУРЗБАЕВ М.М. Временная динамика лиственницы в экотоне лесотундры // Докл. РАН. 2004. Т. 398, № 3. С. 1–5.
- [18] ХАРУК В.И., ДВИНСКАЯ М.Л., РЭНСОН К.ДЖ., ИМ С.Т. Проникновение вечнозеленых хвойных деревьев в зону доминирования лиственницы и климатические тренды // Экология. 2005. № 3. С. 186–192.
- [19] АВАИМОВ А.Р., ZYRYANOVA O.A., PROKUSHKIN S.G. Long-term investigations of larch forests in cryolithic zone of Siberia: brief history, recent results and possible changes under Global Warming // Eurasian J. For. Res. 2002. Vol. 5-2. P. 95–106.
- [20] ВЛАСЕНКО В.И., ОВЧИННИКОВ Д.В. Динамика пихтово-кедровых насаждений на верхнем и нижнем пределах их распространения в Саянах // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Ин-т археологии и этнографии СО РАН. 2002. Вып. 2. С. 61–74.
- [21] ТИМОШОК Е.Е., НАРОЖНЫЙ Ю.К., ДИРКС М.Н., БЕРЕЗОВ А.А. Опыт совместных гляциологических и ботанических исследований первичных сукцессий растительности на молодых моренах в Центральном Алтае // Экология. 2003. № 2. С. 101–107.

- [22] ИСТОМОВ С.В. Современная динамика верхней границы леса в горах Западного Саяна // Актуальные вопросы изучения и охраны растительного мира: Тр. заповедника "Тигерекский". 2005. С. 211–214.
- [23] МОИСЕЕВ П.А. Влияние изменений климата на радиальный прирост и формирование возрастной структуры высокогорных лиственничников Кузнецкого Алатау // Экология. 2002. № 1. С. 10–17.
- [24] OVCHINNIKOVA N.F., ERMOLENKO P.M. Long-term forest vegetation inventories in West Sayan mountains. World Resource Review. 2004.
- [25] SHARKHUU N. Permafrost study. Dynamics of biodiversity loss and permafrost melt in Lake Hovsgol National Park, Mongolia, 2003 Annual Report, GEF/World Bank, Ulan-Baatar.
- [26] ХОТИНСКИЙ Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
- [27] KIRILENKO A.P., SOLOMON A.M. Modeling dynamic vegetation response to rapid climate change using bioclimatic classification // Climate Change. 1998. Vol. 38. P. 15–49.
- [28] LAPENIS A., SHVIDENKO A.Z., SHEPASCHENKO D. ET AL. Acclimation of Russian forests to recent changes in climate // Global Change Biology. 2005. Vol. 11. P. 2090–2102.
- [29] ПОЛИКАРПОВ Н.П., АНДРЕЕВА Н.М., НАЗИМОВА Д.И. и др. Формационный состав лесных зон Сибири как отражение взаимодействия лесообразователей // Лесоведение. 1998. № 5. С. 3–11.
- [30] ЗАВЕЛЬСКАЯ Н.А., ЗУКЕРТ Н.В., ПОЛЯКОВА Е.Ю., ПРЯЖНИКОВ А.А. Прогноз влияния изменения климата на бореальные леса России // Лесоведение. 1993. № 3. С. 16–23.
- [31] УТКИН А.И., ПРЯЖНИКОВ А.А., КАРЕЛИН Д.В. Экология кедрового стланика с позиций углеродного цикла // Лесоведение. 2001. № 3. С. 52–62.
- [32] LAWRENCE D.M., SLATER A.G. A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century // Geophys. Res. Lett. 2005. Vol. 32. L 24401.
- [33] ХАРУК В.И., ДВИНСКАЯ М.Л., РЭНСОН К.ДЖ. Пространственно-временная динамика гарей в зоне доминирования лиственницы // Экология. 2005. № 5. С. 334–343.
- [34] МАЛЕВСКИЙ-МАЛЕВИЧ С.П., МОЛЬКЕНТИН Е.К., НАДЕЖИНА Е.Д., ШКЛЯРЕВИЧ О.Б. К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2005. № 3. С. 36–44.
- [35] FURYAEV V.V., VAGANOV E.A., TCHЕВАКОВА N.M., VALENDIK E.N. Effect of fire and climate on successions and structural changes in the siberian boreal forest // Eurasian J. For. Res. 2001. Vol. 2. P. 1–15.

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.