

УДК 551

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОСТА ДРЕВЕСИНЫ В ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ*

© 2014 г. М.С. Солдатов, С.М. Малхазова, В.Ю. Румянцев, Н.Б. Леонова

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

Поступила в редакцию 07.11.2012 г.

Исследование посвящено выявлению связи динамики продуктивности древесной растительности с глобальными изменениями климата и прогнозированию прироста древесины при конкретном сценарии изменения климатических показателей в середине XXI в. Задача решена на основе обработки статистических данных по приросту древесины для лесопокрытой площади европейской части России. Выявлена зависимость между суммами активных температур и приростом древесины. Полученное уравнение регрессии послужило основой для вычисления прогнозного прироста древесины, а также картографического анализа территориальной дифференциации этого явления.

Введение. Задача выявления степени влияния климатических изменений на различные аспекты функционирования экосистем и, в частности, на продуктивность фитоценозов, стоит в ряду наиболее актуальных научных проблем в связи с анализом эколого-географических последствий глобального потепления в XXI в. Количественный анализ влияния климата на продуктивность лесобразующих пород на европейской территории России (ЕТР) приобретает особое значение как в ресурсном, так и в биосферном отношении в связи с тем, что продукционные процессы, протекающие в лесах ЕТР, играют важную роль в стабилизации уровня содержания углекислоты в атмосфере. Обзор работ по рассматриваемой проблеме представлен в [6, 21].

Прирост древесины считается интегральным показателем продуктивности древостоев, который определяется биологическими особенностями видов и климатическими условиями. Согласно некоторым расчетам, в период с 1961 по 1998 г. продуктивность древостоев в России и ряде стран Европы увеличивалась в среднем на 0.5% в год, в том числе и в связи с общим увеличением температуры воздуха [1].

Цель данной статьи – представить результаты апробирования нового методологического подхода к оценке последствий глобальных изменений климата на основе моделирования климатических и экологических процессов на европейской территории России. В задачи данной работы входило выявление тех климатических показателей, которые в наибольшей степени связаны с приростом древесины и установление формы этой связи; расчет прогнозных значений прироста древесины на основе математических моделей изменения климатических показателей в середине XXI в. [7, 21] и анализ территориальной дифференциации прогнозных значений прироста древесины на ЕТР.

Материалы и методы. Для анализа связей продукционных и климатических показателей использовались материалы по лесоустройству лесопокрытых земель, приведенные в статистических сборниках государственного учета лесного фонда за 1961–1990 гг. [8–13]. Сборники ГУЛФ, ранее издававшиеся с промежутком в 5 лет, являются наиболее доступными и полными источниками информации о состоянии лесов всех субъектов бывшего СССР, материалы этих сборников неоднократно использовались при расчетах продуктивности лесной растительности [3–5, 7, 18].

Из большого числа лесотаксационных параметров, приводимых в статистических сборниках, были выбраны лишь два показателя – общий запас насаждений и общий средний прирост древесины. В анализе задействованы только суммарные

* Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 02.515.11.5088 от 26.06.2008 “Исследования региональных экологических последствий изменений климата и разработка мер по адаптации населения и экономики регионов к ним”.

Таблица 1. Средние показатели запаса прироста насаждений и климатические параметры на период 1961–1990 гг. для субъектов РФ.

Административные образования	Средний запас насаждений (м ³ /га)	Средний прирост (м ³ /га)	ГТК Селянинова	Σ активных температур
Архангельская область	108.0	1.03	1.36	1 310.90
Белгородская область	126.3	3.12	1.00	2 771.60
Брянская область	148.3	4.00	1.34	2 336.90
Владимирская область	153.7	3.77	1.30	2 162.80
Вологодская область	128.0	2.20	1.43	1 773.60
Воронежская область	115.0	3.24	0.94	2 732.64
Ивановская область	144.3	3.80	1.36	2 061.50
Калужская область	162.0	3.97	1.40	2 131.90
Кировская область	130.0	2.70	1.30	1 856.30
Костромская область	138.0	3.11	1.35	1 867.50
Курская область	89.8	2.83	1.18	2 544.20
Ленинградская область	163.0	2.85	1.50	1 636.70
Липецкая область	145.4	3.80	1.15	2 478.00
Московская область	175.3	3.73	1.32	2 196.70
Мурманская область	39.3	0.38	1.24	1 068.80
Нижегородская область	129.0	3.60	1.19	2 165.60
Новгородская область	156.0	3.20	1.50	1 888.70
Орловская область	135.8	3.87	1.25	2 390.50
Пензенская область	139.0	3.84	0.95	2 530.00
Пермская область	131.0	2.16	1.30	1 287.40
Псковская область	142.0	3.05	1.50	1 994.50
Рязанская область	143.0	3.70	1.20	2 239.80
Смоленская область	138.0	3.90	1.44	2 101.06
Тамбовская область	141.0	3.83	1.02	2 354.58
Тверская область	154.3	3.30	1.65	1 979.70
Тульская область	140.0	3.30	1.35	2 230.35
Ульяновская область	152.1	3.80	0.90	2 551.10
Ярославская область	139.0	3.43	1.38	2 050.30
Башкортостан Республика	132.0	2.70	1.06	2 130.26
Карелия Республика	92.0	1.25	1.57	1 521.40
Коми Республика	104.0	1.04	1.40	1 237.60
Марий Эл Республика	130.4	3.20	1.17	2 163.10
Мордовия Республика	118.7	3.54	1.03	2 387.30
Татарстан Республика	132.0	3.80	1.01	2 299.98
Удмуртская Республика	147.7	3.38	1.15	2 023.80
Чувашская Республика	139.5	3.49	1.08	2 293.90

величины этих параметров, приведенные в статистических таблицах как итоговые, совместные для всех групп лесообразующих пород – хвойных, мелколиственных и широколиственных, включая и кустарники.

Общий запас древесины насаждений – это объем сырораствующей стволовой древесины всех деревьев лесного насаждения (древостоя). Запас насаждений зависит от многих параметров, в том числе от покрытой лесом площади, от среднего возраста древостоя и т.д. Как отмечают В.А. Алексеев и М.В. Марков [1], в последние

20 лет в России прослеживается тенденция снижения доли спелых хвойных древостоев и возрастания запасов приспевающих хвойных и мелколиственных (береза, осина, ольха) древостоев. Истощение запасов готовых к рубке хвойных проявилось также в изменении соотношений средних запасов этой группы пород к аналогичным показателям мелколиственных. В Европейско-Уральской части мелколиственные леса на 25% продуктивнее хвойных. Таким образом, рост продуктивности лесов на исследуемой территории в последнее время обес-

печивался преимущественно за счет прироста именно мелколиственных пород.

Общий средний прирост древесины по запасу – также расчетный параметр, который отражает увеличение стволового запаса насаждений (без отпада и промежуточного пользования) за один год в среднем за весь период их жизни. Общий средний прирост в известной степени является интегральным показателем продуктивности древостоев и определяется путем деления общего запаса на средний возраст древостоев.

В дальнейшем лесотаксационные параметры, выраженные в статистических таблицах в млн. м³ были пересчитаны в м³ на 1 га лесопокрытой площади, что позволяет избежать зависимости от размеров последней. Полученные так называемые показатели среднего запаса и среднего прироста [8], в свою очередь, были пересчитаны в средние величины за весь период 1961–1990 гг. для каждого из рассматриваемых субъектов Российской Федерации.

Всего для численного анализа связей климатических и продукционных показателей по конкретным субъектам Российской Федерации были выбраны 36 административных образований, расположенных на европейской территории России. Большинство из них целиком находятся в пределах лесных зон, но есть и те, которые расположены южнее, где лесопокрытые земли занимают относительно небольшие площади – Белгородская, Орловская, Курская и другие области (табл. 1).

Из многочисленных климатических параметров были избраны следующие:

1) гидротермический коэффициент Селянинова: $ГТК = \Sigma R / 0,1 \times \Sigma T$,

где ΣR – сумма осадков, ΣT – сумма активных температур воздуха за некоторый период времени;

2) суммы активных температур воздуха ($>10^\circ\text{C}$) – число дней в году с активными температурами и годовая сумма таких температур. Эти показатели считаются основными климатическими характеристиками продолжительности вегетационного периода растений.

Выбор активных температур и ГТК из всего разнообразия не менее традиционных климатических параметров, используемых при исследованиях в данном направлении, объясняется наличием предоставленных нам кондиционных климатических данных для всей территории европейской России.

Данные о пространственном распределении климатических показателей, положенные в основу анализа, характеризуют европейскую территорию России и сопредельные участки. Территория разбита градусной сеткой на ячейки размером 2×2 градуса. Собственно данные представляют собой результаты ре-анализа NCAP/NCEP [7] данных конкретных измерений сети метеостанций за период с 1961 по 1989 г. включительно (так называемый “период современного климата”), интерполированные на узлы (геометрические центры ячеек – “центроиды”) градусной сетки. Для каждого узла (ячейки) рассчитаны значения множества климатических показателей, из которых в анализе использованы лишь некоторые. Структурно аналогичные прогнозные данные имеются и на 2046–2065 гг.

Для численного анализа связей климатических и продукционных показателей по конкретным субъектам Российской Федерации на соответствующую карту с административными границами регионов была наложена градусная сетка. Для каждого субъекта были рассчитаны средние многолетние взвешенные по площади значения климатических показателей, исходя из наборов ячеек сетки, покрывающих каждый регион и долей площадей этих ячеек, приходящихся на этот регион.

Оценка изменения климатических ресурсов в середине XXI в. (2046–2065 гг.) была выполнена по ансамблю результатов расчетов одиннадцати математических моделей общей циркуляции атмосферы и океана [21], разработанных в рамках проекта CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project), выполняемого под эгидой Всемирной программы исследования климата WCRP (World Climate Research Programme). За основу принят широко известный сценарий “A2” IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), один из наиболее “жестких” сценариев IPCC, но в то же время не относящийся к футурологическим прогнозам, обещающим огромные изменения.

Результаты и их обсуждение. В пределах рассматриваемой территории есть регионы, как по преимуществу лесные, так и в основном безлесные (тундра, степь). Известно, что характеристики продуктивности лесных и безлесных растительных сообществ различны, поэтому было признано целесообразным оценить соответствующие связи как для всей совокупности выбранных регионов, так и отдельно для “лесных”. Таким образом, в последнюю группу не были включены субъекты РФ, расположенные преимущественно

Таблица 2. Корреляции (парная корреляция Пирсона) между климатическими и продукционными показателями для выбранных регионов ЕТР.

Пары показателей	Все регионы (<i>n</i> = 36)	Лесные (<i>n</i> = 23)*
Запас древесины – ГТК	<i>0.1</i>	0.17
Запас древесины – $\Sigma T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.39	0.65
Средний прирост древесины – ГТК	–0.29	–0.16
Средний прирост древесины – $\Sigma T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.80	0.92

* Исключены регионы, относящиеся к лесостепи и степи. *Курсив* – корреляция незначима. **Жирный шрифт** – корреляции значимы при $p < 0.05$. Обычный шрифт – корреляции значимы при $p < 0.5$.

в южной части ЕТР, где леса занимают небольшие площади.

Для выявления связей между лесотаксационными показателями и климатическими параметрами были рассчитаны значения коэффициента парной корреляции Пирсона по конкретным точкам градусной сетки (табл. 2).

Приведенные расчеты свидетельствуют, что из рассмотренных параметров растительности и климата достоверная связь имеет место только для пары “средний прирост древесины – сумма активных температур” (рис. 1). При этом, если включать в анализ только лесные регионы, теснота связи заметно возрастает. Соответственно эти показатели и были использованы для прогноза тенденций изменения продуктивности растительности исследованных регионов.

Связь между приростом древесины и суммой активных температур на основании проведенных

расчетов выражается следующим уравнением линейной регрессии:

$$\text{Prir} = -2 + 0.0026 \times Et,$$

где *Prir* – прирост древесины ($\text{м}^3/\text{га}$), *Et* – сумма активных температур при коэффициенте корреляции, равном 0.92.

Подставляя в уравнение прогнозные значения показателя суммы активных температур (*Et*) на период 2045–2065 гг., мы можем рассчитать потенциальное значение показателя среднего прироста древесины для каждой точки, имеющей климатические показатели на данный период. Также были рассчитаны “сдвиги” соответствующих величин прироста древесины, определяемые как разности прогнозируемых и актуальных значений. Результаты представлены в табл. 3 и на рис. 2, 3.

Полученные результаты расчетов демонстрируют общую тенденцию увеличения прогнозируемых значений показателя среднего прироста древесины в период 2046–2065 гг. в сравнении с периодом современного климата. Особенно значительное увеличение прироста и соответственно его максимальные значения прогнозируются для южной части рассматриваемой территории. При этом наибольшие “сдвиги” продуктивности ожидаются для Среднего Поволжья (Республика Марий Эл – $1.62\text{ м}^3/\text{га}$, Чувашская Республика – $1.65\text{ м}^3/\text{га}$) и Среднего Урала (Пермская область – $1.66\text{ м}^3/\text{га}$). В последнем случае возможна статистическая ошибка, связанная с тем, что значительная часть области расположена в горах, где результаты прогноза могут искажаться. Следует отметить, что существенные “сдвиги” прогнозируются также для наиболее северных субъектов – Мурманская и Архангельская области. Это вполне соответствует сложившимся на сегодняшний

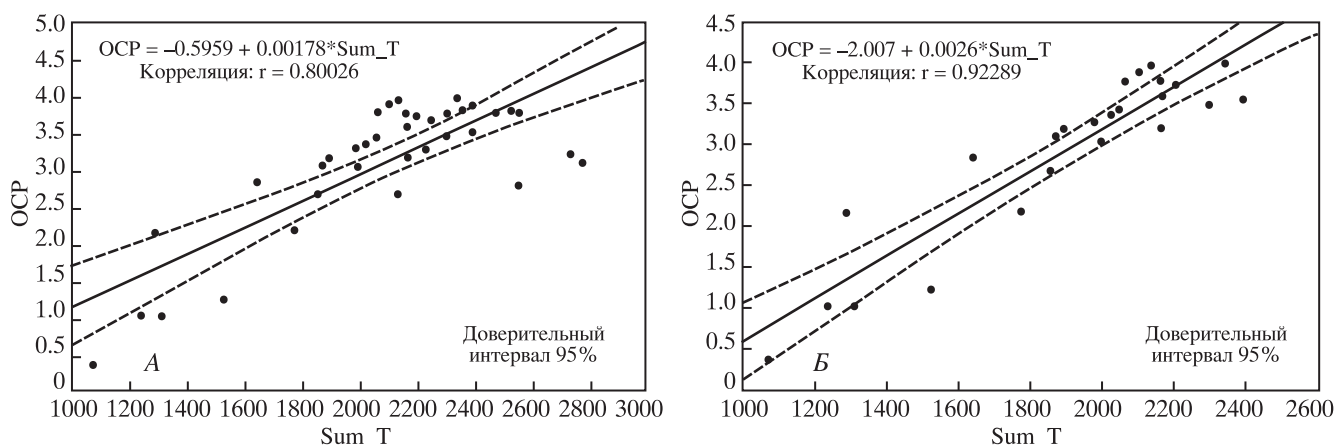


Рис. 1. Связь среднего прироста древесины (CP) с суммой активных температур (Sum_T) по регионам Европейской России. А – все регионы, Б – только лесные.

Таблица 3. Прогнозируемые на 2046–2065 гг. изменения прироста древесины по лесным регионам ЕТР

Субъекты РФ	Средний прирост древесины (м ³ /га)		
	1961–1990 гг.	2045–2065 гг.	“сдвиг”**
Архангельская область	1.03	2.51	1.48
Брянская область	4	5.54	1.54
Владимирская область	3.77	4.98	1.21
Вологодская область	2.2	3.72	1.52
Ивановская область	3.8	4.68	0.88
Калужская область	3.97	5.12	1.15
Кировская область	2.7	4.07	1.37
Костромская область	3.11	4.14	1.03
Ленинградская область	2.85	3.81	0.96
Московская область	3.73	4.96	1.23
Мурманская область	0.38	1.91	1.53
Нижегородская область	3.6	4.82	1.22
Новгородская область	3.2	4.17	0.97
Пермская область	2.16	3.82	1.66
Псковская область	3.05	4.43	1.38
Смоленская область	3.9	4.78	0.88
Тверская область	3.3	4.4	1.1
Ярославская область	3.43	4.46	1.03
Карелия Республика	1.25	2.55	1.3
Коми Республика	1.04	2.42	1.38
Марий Эл Республика	3.2	4.82	1.62
Удмуртская Республика	3.38	4.54	1.16
Чувашская Республика	3.49	5.14	1.65

* Под “сдвигом” понимается разность между прогнозируемым и актуальным значением показателя.

день представлениям о том, что смещение границ растительных сообществ наиболее вероятно там, где условия леса существования экстремальны и именно температура является лимитирующим фактором [15, 19], поэтому неудивительно, что наиболее заметные подвижки границ древесной растительности наблюдаются в настоящем и могут прогнозироваться в будущем в северотаежных регионах, в том числе и экотоне лесотундры.

Необходимо отметить, что в анализ не включены данные по осадкам, хотя изменение показателей среднегодового количества осадков, осадков за теплый период также ответственно за увеличение продуктивности растительности. Однако в данной модели прогноза климатических параметров изучение влияния изменений количества осадков не проводилось.

Заключение. Подводя итоги полученным результатам, необходимо подчеркнуть, что растительность как важнейший компонент экосистем обладает значительной устойчивостью и консервативна. Растительные сообщества представляют собой сложные совокупности живых организмов, которые развиваются по внутренним биологи-

ческим законам, поэтому моделирование биопродукционных процессов на основе экстраполяции данных регрессионного анализа по точкам климатической модели вряд ли может дать полную картину тенденций прироста продукции древесины на обширной территории. Увеличение прироста и запаса насаждения не является прямой функцией климатических условий. Согласно многочисленным наблюдениям ученых-лесоведов, прирост каждой древесной породы увеличивается в связи с благоприятными климатическими условиями до определенного уровня, а затем замедляется и прекращается [16, 20].

Тем не менее полученные результаты иллюстрируют определенную статистически достоверную связь удельного прироста древесины с суммой активных температур и его большую значимость по сравнению с гидротермическим коэффициентом Селянинова. На основе сопряженного анализа большого объема статистических данных по запасам и приросту древесины и климатических данных, покрывающих всю территорию Европейской России, предпринята попытка прогноза тенденций изменения прироста древесных пород в соответствии с рассчитанной моделью

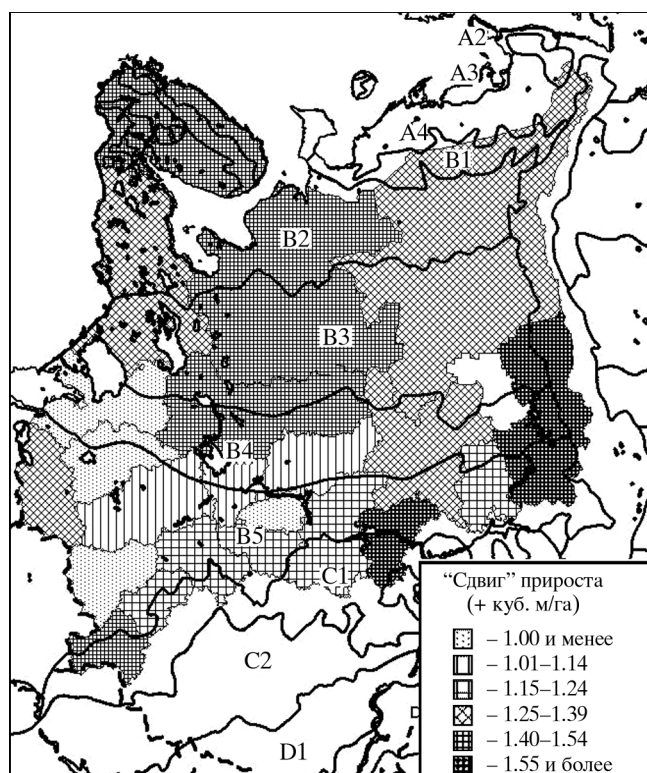


Рис. 2. Прогнозируемый на 2046–65 гг. средний прирост древесины. Зоны и подзоны растительности (по карте “Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий”, 1992):

А. Тундровая зона

A2. Подзона арктических тундр

A3. Подзона северных гипоарктических (типичных) тундр

A4. Подзона южных гипоарктических (кустарниковых) тундр

В. Таяжная зона

B1. Подзона лесотундры

B2. Подзона северной тайги

B3. Подзона средней тайги

B4. Подзона южной тайги

B5. Подзона подтайги

С. Широколиственнолесная зона

C1. Подзона широколиственных лесов

C2. Подзона лесостепи

Д. Степная зона

D1. Подзона северных (разнотравно-дерновиннозлаковых) степей

D2. Подзона средних (сухих) степей

D3. Подзона южных (опустыненных) степей

изменения климата в середине XXI в. До сих пор модели ответной реакции среды при разных сценариях изменения климата основывались на изучении подобных изменений в прошлом и их анализе в связи с климатической ситуацией разных периодов, а также по данным дендрохронологического анализа [2, 15, 17]. Очевидно, что полноценный прогноз реакции продуктивности растительности на изменения климата должен

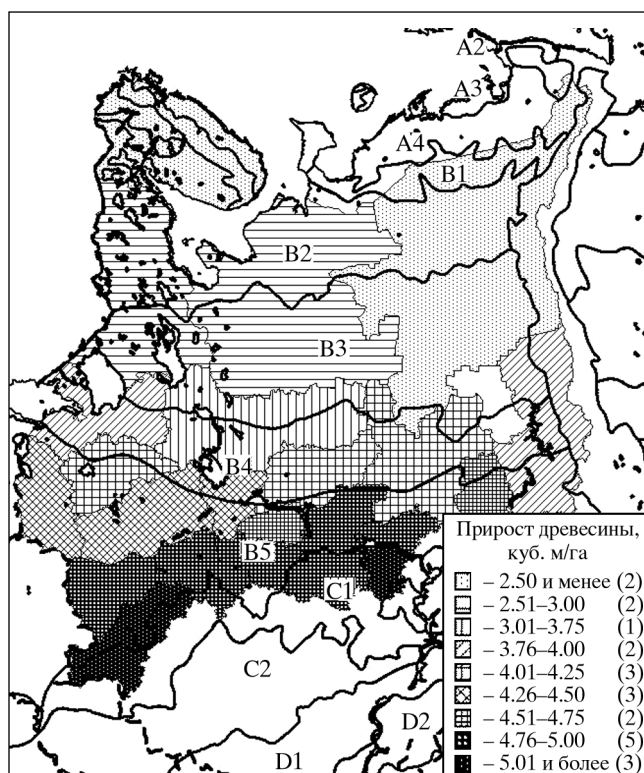


Рис. 3. Прогнозируемый на 2046–65 гг. “сдвиг” значений среднего прироста древесины в сравнении с периодом “современного климата” (только для “лесных” регионов ЕТР).

учитывать весь комплекс эколого-географических, лесоводческих и биологических факторов, который специфичен на небольших площадях в рамках районов с однородными ландшафтными условиями. Возможности исследований для выявления особенностей динамики этих факторов в настоящее время ограничены и не могут охватывать больших территорий по объективным причинам. Предлагаемый подход к организации междисциплинарного изучения эколого-географических последствий глобального потепления позволяет решать эти проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Марков М.В. Статистические данные о лесном фонде и изменение продуктивности лесов России во второй половине XX века. СПб.: Санкт-Петербург. лесн. эколог. центр, 2003. 272 с.
2. Величко А.А. Глобальные изменения климата и реакция ландшафтной оболочки // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 5. С. 5–22.
3. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 4. С. 54–63.

4. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В.* Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесообразующих пород России // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2003. Вып. 32. С. 119–127.
5. *Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий (карта М 1: 8 000 000) /* Под ред. Огуреевой Г.Н. М.: ТОО “Экор”, 1992.
6. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И. и др.* Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.
7. *Кислов А., Гребенец В., Евстигнеев В., Малхазова С., Румянцев В., Сидорова М., Солдатов М., Суркова Г., Шартова Н.* Комплексная оценка последствий потепления климата XXI века на севере Евразии / *Изменение климата. Европа, Северная Азия, Северная Америка. 4-е Европейские диалоги в Эвиане. Eurcasia*. 2011. С. 83–96.
8. *Кузьмин Н.И.* Распределение и динамика фитомассы и ее годового прироста в лесном покрове Оренбургской области // Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Екатеринбург, 2008. 23 с.
9. *Лесной фонд РСФСР (по учету на первое января 1961 г.).* Статистический справочник. М.: ВНИЦ Лесресурс, 1962.
10. *Лесной фонд СССР (по учету на первое января 1966).* Статистический справочник. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1968.
11. *Лесной фонд СССР (по учету на первое января 1972).* Статистический справочник. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1975.
12. *Лесной фонд СССР (по учету на первое января 1978).* Статистический справочник. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1979.
13. *Лесной фонд СССР (по учету на первое января 1983).* Статистический справочник. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1985.
14. *Лесной фонд СССР (по учету на первое января 1988).* Статистический справочник. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1990.
15. *Романовский М.Г., Шекалев Р.В.* Лес и климат центральной полосы России. М.: Ин-т лесоведения РАН, 2009. 68 с.
16. *Турманина В.И.* Фитоиндикация колебаний климата // *Ландшафтная индикация природных процессов*. Тр. МОИП. Т. 15. 1976. С. 64–70.
17. *Харук В.И., Рэнсон К.Дж., Им С.Т., Наурзбаев М.М.* Лиственничники лесотундры и климатические тренды // *Экология*. 2006. № 5. С. 323–331.
18. *Шашкин Е.А., Ваганов Е.А.* Динамика прироста площадей сечения стволов у деревьев в разных районах Сибири в связи с глобальными изменениями температуры // *Лесоведение*. 2000. № 3. С. 3–12.
19. *Швиденко А.З., Нильсон С., Щепаченко Д.Г.* Агрегированные модели фитомассы насаждений основных лесообразующих пород России // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2001. № 1(30). С. 50–57.
20. *Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В., Циммерман Н.Е.* Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в 20-ом столетии на Полярном Урале // *Экология*. 2007. С. 243–248.
21. *Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири /* Под ред. Н.С. Касимова и А.В. Кислова. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.

Forecast of Change in Wood Growth in Forests of European Russia Due to Global Warming

M.S. Soldatov, S.M. Malkhazova, V.Yu. Rumyantsev, N.B. Leonova

Moscow State University, Faculty of Geography

The link between dynamics of productivity of forests and global climate change is investigated. A forecast of wood growth in specific scenarios of climate indicators for the middle of the 21 century is made on the basis of statistical data on the wood growth for the forest area of the European part of Russia. The relationship between the sum of active temperatures and wood growth is revealed. The resulting regression equation is the basis for the forecast of wood growth, as well as for cartographic analysis of spatial differentiation of this phenomenon.