

СОГЛАСОВАННОСТЬ В КОЛЕБАНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ КЛИМАТА И ПРИРОСТА ДРЕВЕСИНЫ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ

Н. Н. Чередыко, А. И. Кусков

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Россия

Поступила в редакцию 20 февраля 2014 г.

Аннотация: В работе выявлены элементы согласованности в рядах экспериментальных данных температуры, осадков вегетационного периода и индексов прироста древесины. Предложен объективный подход к индексированию рядов ширины годичных колец деревьев (*Pinus sylvestris*) из ленты Барнаульского соснового бора. Выявленную согласованность в динамике природно-климатических характеристик можно расценивать, как проявление свойств общего сигнала, в котором проявляется вынуждающее воздействие на геосистему Алтайского региона, и использовать для повышения качества экологического прогнозирования.

Ключевые слова: колебания климата, прирост древесины, согласованность.

Abstract: The elements of consistency in the ranks of the experimental data of temperature, precipitation of the growing season and indices of forest growth have been revealed in the article. An objective approach to indexing rows of width of tree rings (*Pinus sylvestris*) from the tape of the Barnaul pine forest has been proposed. The identified consistency in the dynamics of natural and climatic characteristics can be regarded as a manifestation of the general properties of the signal, which shows forcing action on geosystem in the Altai region. This constituency also can be used to improve the quality of environmental forecasting.

Key words: variations in climate, forest growth, consistency.

Климат Земли на протяжении всей его истории был подвержен постоянным колебаниям, связанным с естественными изменениями основных климатообразующих факторов, что происходит на всех временных масштабах: от сезонных до геологических. Компоненты геосферы подвержены вынуждающим внешним воздействиям различной природы (энергетические воздействия на оболочки Земли геосферных, гелиосферных источников и изменений межпланетарных отношений), которые, полагаем, проявляются в согласованности изменений природно-климатических характеристик. Проблема четкого описания механизмов такого рода воздействий еще не решена, однако в рамках феноменологического анализа можно выявлять закономерности, расширяющие возможности познания и пределы предсказуемости региональных природно-климатических процессов на фоне глобальных изменений. Установление согласованности в изменениях характеристик годичных

колец деревьев и факторов внешней среды и как следствие получение на этой основе ретроспективной и прогнозной информации о процессах и явлениях, определяющих динамику этих характеристик, расширяют возможности экологического мониторинга.

В зависимости от состава древостоя, орографических особенностей их произрастания, внутри- и межвидовой конкуренции древесные породы могут реагировать по-разному на одни и те же изменения внешних условий. К настоящему времени установлено, что в неблагоприятных условиях произрастания годичный прирост деревьев, в основном, определяется одним лимитирующим фактором, а в благоприятных – комплексом факторов, значимость которых меняется во времени и в пространстве [1, 4, 14]. Использование древесины хвойных видов для дендроклиматического мониторинга оправдано тем, что их годичные слои прироста хорошо различимы, четко реагируют на изменение климатических условий [2]. Кроме того, деревья хвойных пород долговечны и способны

произрастать в крайне неблагоприятных условиях среды. Для надежных результатов необходимы образцы древесины (буровые керны) не менее, чем с 15-20 модельных деревьев (одного вида и с одного типа условий местообитания) [5]. Материалом для данного исследования послужили ряды прироста годовых колец двадцати модельных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) из ленты Барнаульского соснового бора. Отбор модельных деревьев и образцов древесины осуществлялся по известным методикам [3] в 2000 году. Максимальный возраст деревьев 212 лет. Отметим, что ленточные сосновые боры уникальны, так как сформировались в совершенно нетипичных для этой природной зоны условиях. Полосы леса шириной 3-30 км и протяженностью до 400 км тянутся вдоль рек, пересекая Алтайскую степь. Из-за столь необычного расположения они являются ключевой системой жизнеобеспечения: сдерживают песчаные бури, идущие из Казахстана, формируют оптимальный для жизнедеятельности животных и человека микроклимат. Однако из-за ленточной структуры эти леса очень уязвимы. Лента Барнаульского соснового бора тянется на 550 км от р. Обь в окрестностях г. Барнаула до р. Иртыш в окрестностях Семипалатинска, ширина ее в окрестностях Барнаула составляет 8-10 км [8].

В дендроклиматологии существуют специальные методы, позволяющие исключать или, по крайней мере, значительно снижать влияние сигналов, не связанных с климатом, на рост и развитие де-

рева путем индексирования, при котором абсолютные величины прироста переводятся в относительные. И далее, анализ проводится с рядами индексов прироста. В данной статье предлагается оригинальный подход расчета индекса прироста. На первом этапе по временному ряду ширины годовых колец выделяется кривая большого роста (КБР), параметр, характеризующий развитие дерева независимо от внешних факторов, в частности, климатических. Предлагаем представлять КБР, как сумму линейного тренда $Tr(t)$ и первой низкочастотной гармоники $G(t)$, продолжительность которой устанавливалась по максимальному значению амплитуды в спектре рядов прироста. Для выделения гармоник использовался подход, описанный в [12]. При этом период гармоник не зависит от длины ряда. Таким образом, данная технология выделения циклов во временных рядах позволяет превзойти в этом смысле использование быстрого преобразования Фурье, кроме того, она объективнее методов визуальной оценки цикличности и позволяет избежать относительной трудоемкости вейвлет-анализа. Представление процесса в виде суммы гармоник и остатка (непериодической функции) естественно для описания природных процессов, которые в действительности не чисто периодические, а квазипериодические. Их особенности являются следствием действия нескольких факторов и наличия обратных связей.

Таким образом, для исключения индивидуальных характеристик роста отдельных деревьев аб-

Таблица

Характеристика разложения рядов индексов радиального прироста модельных деревьев на ортогональные составляющие

№ дерева	Среднее, мм	1-я компонента	
		a	R
1	94,8	0,19	0,93
2	97,7	0,34	0,96
3	99,1	0,26	0,97
4	99,4	0,30	0,99
5	99,9	0,39	0,99
6	98,5	0,26	0,98
7	104,1	0,42	0,94
8	103,4	0,48	0,99
9	95,1	0,26	0,96
Собственное число %		93,9	

a – собственный вектор компоненты, R – коэффициент корреляции компоненты с фактическим полем

солютные значения прироста переводились в относительные $I(t)$ (индекс прироста) путем соотношения ширины годичного кольца $p(t)$ к КБР:

$$I(t) = \frac{p(t)}{Tr(t) + G(t)}$$

Для дальнейшего исследования были отображены только 9 деревьев из 20-ти по принципу того, что первой ведущей гармоникой в спектрах этих рядов являлась низкочастотная с максимальной длиной периода. Корректность выбора модельных деревьев подтвердил компонентный анализ рядов индексов прироста (таблица).

Высокие связи индексов девяти выбранных модельных деревьев с полученным типовым приростом (таблица) подтверждают согласованность изменения этих приростов, что позволяет выделить их в отдельный класс и ожидать сходную реакцию этих деревьев на изменения внешних условий. Кроме того, типовой прирост (Y), в целом, достоверно отражает общую изменчивость приростов рассматриваемой группы деревьев, что дает возможность сжимать большие наборы признаков в один типовой. Выбор модельных деревьев для исследования по принципу общности хода их кривых большого роста позволяет существенно сократить затраты на получение дендроклиматической информации. Предложенный подход расчета индексов приростов, отражающих изменение ширины годичных колец при изменении внешних условий, независимо от индивидуальных свойств отдельных деревьев достаточно прост и функционален.

Благоприятный тепло-влажный режим – один из важнейших факторов существования растений. Продолжительность и тепло-влажностный режим вегетационного периода характеризуются датами

устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 или 10°C, суммами активных и эффективных температур воздуха, суммами осадков. Характеристики вегетационного периода были рассчитаны по данным о среднесуточных температурах и суточном количестве осадков за 1960–2006 годы по станции Барнаул (рис. 1а). Помимо сумм температуры (tv) и осадков (qv) для этого же периода был рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова, являющийся одним из наиболее часто используемых показателей при характеристике тепло-влажных условий территории для периода активной вегетации [8]. При этом в качестве пределов засушливости принимают $ГТК \leq 0,8$ – состояние засухи и $ГТК \leq 0,4$ – состояние сильной засухи [6]. В 1972 году в Барнауле ГТК был максимальным за исследуемый период (рис. 1а). Минимальное значение отмечено в 1973 году и составило 0,53, что говорит об отсутствии очень сильных засух в районе Барнаула на отрезке 1961–2006 годов. Сухие периоды отмечались в 70-х годах. С конца 80-х начался период повышенного увлажнения вплоть до конца 1990-х годов, когда начался период с пониженным увлажнением (рис. 1а).

Анализ кривых (рис. 1а) позволяет заключить, что для исследуемого района характерны либо холодные и влажные, либо теплые и сухие вегетационные периоды. Другими словами, на различных временных интервалах в вегетационный период года в Алтайском регионе похолодания сопровождаются увеличением количества выпадающих осадков, рост температуры вегетационного периода, как правило, сопровождается уменьшением осадков, т.е. усилением засушливости.

Оценка корреляционной связи между индексами прироста древесины и климатическими ха-

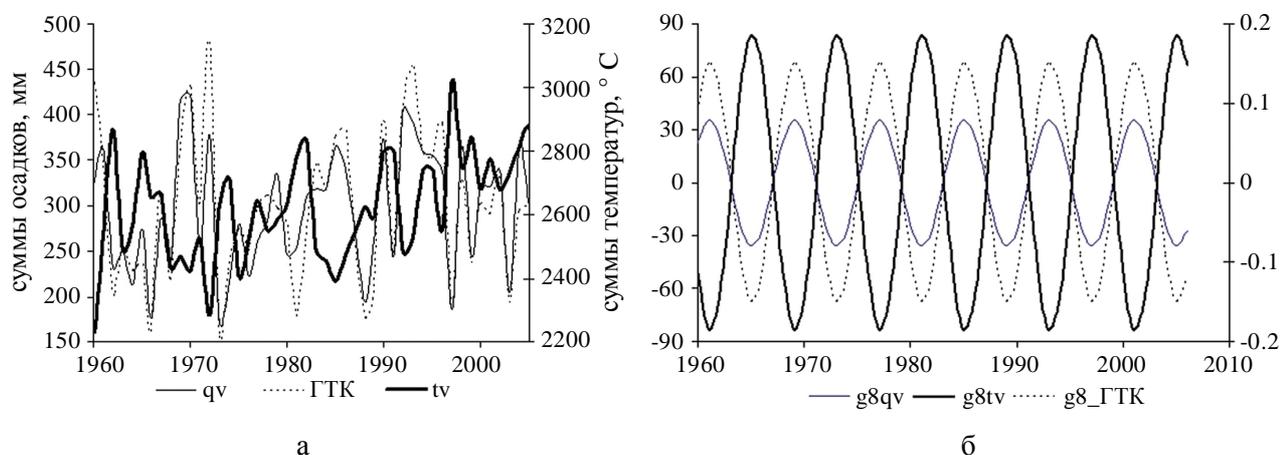


Рис. 1. Временной ход в Барнауле а – характеристик вегетационного периода, б – их 8-летних гармоник

рактическими для каждого месяца года показала, что прирост древесины определяется не только тепло-влажными условиями месяцев вегетационного периода текущего года, но и условиями предшествующих зимних месяцев. В холодный период года в состоянии покоя дерево, тем не менее, подвержено негативному влиянию сильных продолжительных похолоданий, а количество выпавшего за зиму снега определяет влагозапас почвы в начале вегетации. Высокую корреляцию с приростом показали осадки ноября предыдущего года. Эта закономерность объясняется тем, что от количества выпавшего снега в ноябре зависит то, как отреагирует дерево на первые сильные морозы.

Подробная оценка особенностей влияния изменений тепло-влажного режима вегетационного периода на прирост сосны проводилась путем построения эмпирических и сглаженных полиномом зависимостей прироста древесины от комплекса температура – осадки:

$$I = a_0 + a_1 tv + a_2 qv + a_3 tv^2 + a_4 qv^2 + a_5 tvqv + a_6 tv^3 + a_7 qv^3 + a_8 tv^2qv + a_9 tvqv^2,$$

где $a_0 \dots a_9$ – коэффициенты регрессии, tv – суммы температур за период устойчивого перехода через 0, 5 или 10°C, qv – суммы осадков за те же периоды. Ряды сумм температуры и осадков были приведены к одной размерности, то есть стандартизированы. Зависимости находили по первичным данным сумм температур, сумм осадков и индексов прироста древесины, а также по данным, подвергнутым 3, 5, 7, 9-летнему скользящему сглаживанию. С увеличением периода сглаживания закономерно возрастает связь модели с фактом. Для наглядной интерпретации связи индекса прироста с комплексом температура – осадки строились за-

висимости изменений прироста фактические и полученные по модели для каждого модельного дерева. Модель восстанавливает все основные закономерности зависимости индексов прироста от комплекса тепло-влаги (рис. 2, пример для дерева №4).

Анализ рисунка 2 показывает, что определяющее влияние на рост деревьев в ленте Барнаульского соснового бора при низких температурах принадлежит суммарному количеству осадков за вегетационный период.

Причем, чем выше суммы осадков, тем меньше влияние температуры. Чем ниже суммы осадков, тем больше прирост зависит от суммы температур за вегетационный период. Такая зависимость прослеживается для всех исследованных деревьев. «Провалы» в поверхности отражают сочетание температуры и осадков, при которых формируются узкие кольца. Высокая связь модели с фактическими данными просматривается и в согласованности хода кривых факта и модели для различных характеристик (рис. 3).

Согласованность модельных и фактических данных, при принятии гипотезы о постоянстве полученных закономерностей, позволяет при необходимости получать данные о климатических изменениях в масштабе столетий с дискретом в один год путем решения обратной задачи, то есть реконструируя тепло-влажный режим в Барнауле по рядам индексов прироста. Безусловно, для этих целей гораздо интереснее получить образцы древесины больших возрастов.

С целью анализа согласованности в динамике исследуемых параметров, используя описанный выше прием, были выявлены характерные периоды колебаний в рядах характеристик вегетационного периода и индексов прироста.

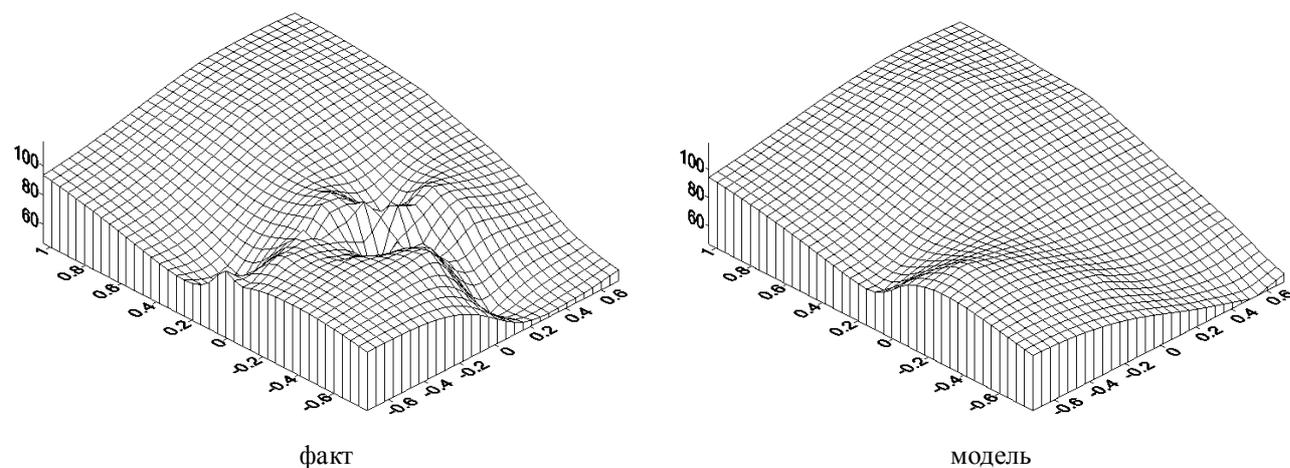


Рис. 2. Зависимость индексов прироста дерева №4, фактических и полученных по модели, сглаженных по пятилетиям, от комплекса тепло-влаги

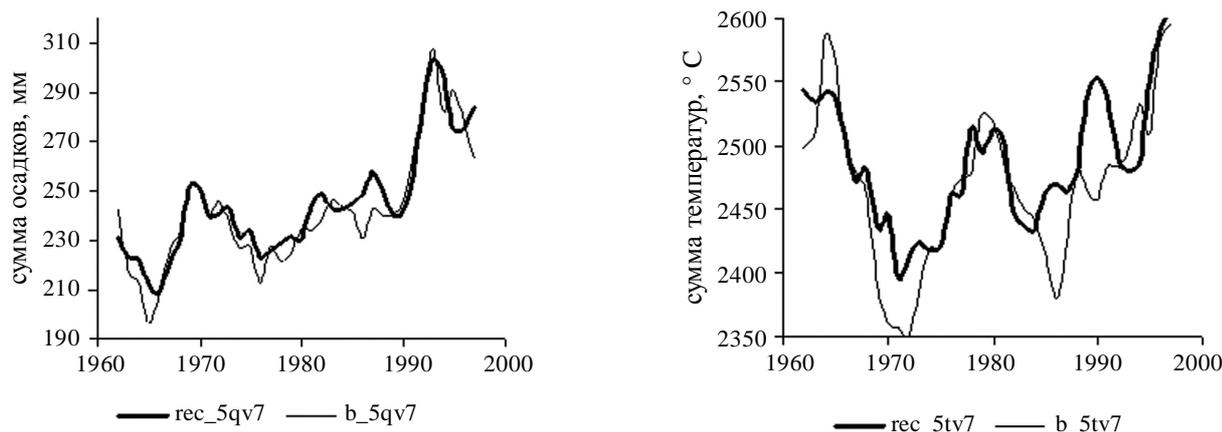


Рис. 3. Временной ход характеристик тепло-влажного режима вегетационного периода фактических и полученных по модели на основании выявленных закономерностей влияния этих характеристик на прирост древесины

Примечание: b_5qv7 и b_5tv7 – суммы осадков и температуры для периода устойчивого перехода температуры через 5° С; rec_5qv7, rec_5tv7 – модельные кривые этих характеристик соответственно. Ряды усреднены по 7-летиям.

Так, в рядах характеристик вегетационного периода проявляются циклы порядка 30, 20-22, 11, 6-8 лет. Ведущей для всех трех параметров оказалась 8-летняя гармоника. Причем, во временном ходе 8-летние гармоники рядов температуры и рядов осадков находятся в противофазе (рис. 1б). Это отражает уменьшение количества осадков в вегетационный период при потеплениях и их увеличение при похолоданиях. Выявление периодичностей в рядах индексов радиального прироста сосны показало проявление в их динамике циклов с периодами порядка 90, 50, 30, 20-22, 11, 9 лет. В ряде типового прироста обнаружены те же циклы. Причем, квазивековая гармоника, вносящая наибольший вклад в изменение ширины годичных колец, описывает в среднем 70 % их общей изменчивости (рис. 4а). Таким образом, деревья в большей степени реагируют на крупные изменения внешних условий существенным увеличением амплитуды колебаний характеристик их приростов.

Для сопоставления динамики сумм температуры и осадков вегетационного периода в Барнауле и рядов индексов прироста с изменениями климатообразующих факторов этим же методом были обработаны ряды чисел Вольфа, взятых с сайта бельгийского Центра анализа данных по влиянию Солнца (<http://www.sidc.oma.be>), и угловой скорости вращения Земли, взятые с официального сайта Международной службы вращения Земли (www.iers.org).

В результате применения обозначенного выше подхода для анализа рядов чисел Вольфа, которые можно принять в качестве одного из интегральных показателей всех проявлений солнечной активнос-

сти, было получено, что вековые гармоники рядов прироста деревьев в своем ходе идут в противофазе вековой гармонике солнечной активности (рис. 4а), то есть прирост деревьев повышен в годы минимума солнечной активности в вековом цикле. В периоды спада и роста солнечной активности в этом цикле отмечаются наибольшие амплитуды в изменении прироста. Периоды максимальной солнечной активности в середине XIX и середине XX века обуславливают низкие темпы прироста деревьев и уменьшение амплитуды колебаний. Максимум полувековой гармонике прироста способствует повышению значений ширины годичных колец, даже при максимальной солнечной активности в вековом цикле, на рис. 4а видно некоторое повышение темпов прироста в эти периоды.

Об изменении скорости вращения Земли можно судить по отклонениям длительности земных суток от эталонных [10]. По мнению ряда ученых [11], скорость вращения Земли (v_g) является интегральной характеристикой, отражающей влияние всех внешних ритмоздающих воздействий. Неравномерность вращения Земли, связанная с процессами общей циркуляции атмосферы (ОЦА), которые акцентируются под действием солнечной активности (СА), может служить показателем интенсивности перераспределения тепла и влаги на планете [9, 10]. Таким образом, вариации v_g и изменения климата могут быть обусловлены общими факторами. Расчеты показали, что ведущая гармоника в рядах v_g имеет период около 20 лет. Колебание такого периода можно объяснить, с одной стороны, Лунно-Солнечным влиянием, так как нутации оси вращения Земли происходят вслед-

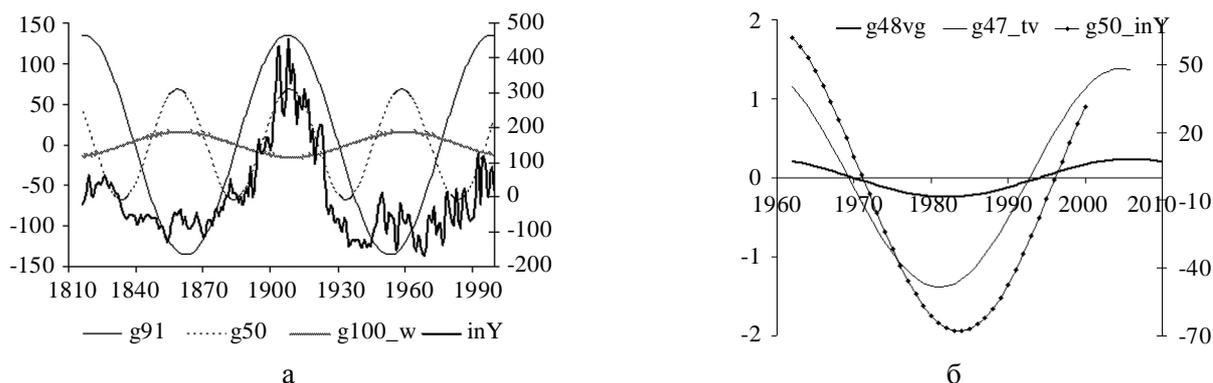


Рис. 4. Временной ход а – типовой индексов прироста (inY), гармоник типового прироста 91- и 50-летних (g91 и g50 соответственно), вековой гармоник ряда чисел Вольфа (g100_w); б – полувековых гармоник отклонений скорости вращения Земли (g48vg), сумм температур за период вегетации (g47_tv) и типового прироста (g50_inY)

ствие колебаний моментов сил тяготения, определяемых взаимным расположением Луны и Солнца по отношению к Земле, а период обращения узлов орбиты Луны – 18,6 года [10]. С другой стороны, этот цикл может быть обусловлен периодом последовательных соединений Сатурна и Юпитера [7]. Второе место по влиянию на амплитуду колебаний скорости вращения Земли занимает годовая гармоника, что определяется собственно вращением Земли вокруг Солнца и, вследствие этого, сезонными перестройками ОЦА под действием изменений в приходе солнечного тепла к поверхности планеты. Кроме того, в числе ведущих в рядах *vg* были выявлены гармоники с периодами около 6-8-, 12-, 30-ти лет и полувековая. Циклы подобных периодов, а также 20-летний выявлены выше и в рядах характеристик вегетационного периода на станции Барнаул, и в рядах индексов прироста. Полученные результаты указывают на наличие согласованных элементов в колебаниях природно-климатических параметров и на высокую чувствительность их к изменению внешних (космических) факторов среды.

Итак, полученные в работе результаты свидетельствуют об отчетливом согласованном отклике динамики температуры и осадков вегетационного периода, а также интенсивности прироста древесины в Алтайском регионе на внешние воздействия различных масштабов. Отметим, что используемые в официальных прогнозах модели климата не учитывают эффектов цикличности. Тем не менее, элементы согласованности рядов экспериментальных данных, приведенные в статье, можно расценивать, как проявление свойств общего сигнала, в котором проявляется вынуждающее воздействие на геосистему Алтайского региона, и использовать

для повышения качества прогнозирования природно-климатических изменений. Вообще, возможность воздействия солнечной активности и других внешних факторов на оболочки геосферы признается учеными и описывается во многих работах, однако степень реальности и обоснование механизмов этих связей по-прежнему вызывают дискуссии среди исследователей. Данный факт, тем не менее, позволяет использовать выявленные закономерности в рамках феноменологического подхода при решении проблемы прогнозирования изменений природно-климатических процессов. Проведенные исследования позволили установить, что рост температуры вегетационного периода в Алтайском регионе, как правило, сопровождается уменьшением осадков, т.е. наступлением засушливых периодов, что полезно знать в сельском и лесном хозяйствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Л. И. Влияние гидрологического и температурного режимов на радиальный прирост лиственных деревьев в пойме Нижней Оби / Л. И. Агафонов // Экология. – 1995. – № 6. – С. 436-443.
2. Балыбина А. С. Реконструкция колебаний климата в Предбайкалье дендрохронологическим методом / А. С. Балыбина // География и природные ресурсы. – 2006. – № 4. – С. 123-129.
3. Битвинкас Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинкас. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.
4. Битвинкас Т. Т. Биоэкологические основы дендроклиматических исследований / Т. Т. Битвинкас. – Свердловск, 1984. – 50 с.
5. Ваганов Е. А. Дендроклиматические исследования Урало-Сибирской Субарктики / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа. – Новосибирск : Наука, 1996. – 245 с.

6. Густокашина Н. Н. Тенденции изменения засушливости в степи и лесостепи Предбайкалья / Н. Н. Густокашина, Е. В. Максютова // География и природные ресурсы. – 2006. – № 4. – С. 76-81.

7. Дмитриев А. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов / А. А. Дмитриев, В. А. Беязо. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2006. – 360 с.

8. Малышева Н. В. Дендроклиматический анализ прироста сосны обыкновенной ленточных боров Алтайского края / Н. В. Малышева // Известия Бийского отделения Русского географического общества. – Бийск : Редакционно-издательский отдел Бийского педагогического государственного университета им. В. М. Шукшина, 2005. – Вып. 25. – С. 12-15.

9. Подрезов О. А. Изменение современного климата / О. А. Подрезов // Геоэкология и природопользование Алтае-Саянской горной страны. – 2009. – Вып. 5. – С. 162-180.

10. Сидоренков Н. С. Нестабильность вращения Земли / Н. С. Сидоренков // Вестник РАН. – 2004. – Т. 74, № 8. – С. 701-715.

11. Усманов Р. Ф. Проблема пространства-времени в метеорологии / Р. Ф. Усманов // Вопросы моделирования геокосмических связей : труды Научного центра «Экопрогноз». – Новосибирск : Сибирское отделение РАСХН, 1996. – Вып. 1. – С. 6-29.

12. Цикличность торфообразовательного процесса на юге лесной зоны Западной Сибири / В. А. Крутиков [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 1. – С. 46-51.

13. Чирков Ю. И. Агрометеорология / Ю. И. Чирков. – Ленинград : Гидрометиздат, 1979. – 320 с.

14. Шиятов С. Г. Итоги дендрохронологических исследований в восточных районах страны за 1968-1982 гг. и перспективы их развития / С. Г. Шиятов, Г. Е. Комин // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск : Наука, 1986. – С. 3-19.

Чередыко Наталья Николаевна

кандидат географических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, т. (3822) 49-22-65, E-mail: atnik3@rambler.ru

Кусков Аркадий Игнатьевич

кандидат географических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, E-mail: arcus1309@rambler.ru

Chered'ko Natal'ya Nikolayevna

Candidate of Geographical Sciences, Researcher of Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, tel. (3822) 49-22-65, E-mail: atnik3@rambler.ru

Kuskov Arkadiy Ignat'yevitch

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, E-mail: arcus1309@rambler.ru