

Роль дендроклиматических и дендрогидрологических исследований в разработке глобальных и региональных экологических проблем (на примере азиатской части России)

Е. А. ВАГАНОВ, С. Г. ШИЯТОВ

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск*

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202*

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена роль дендрохронологической информации в разработке глобальных и региональных экологических проблем. Особое внимание уделено реконструкции климатических и гидрологических факторов в прошлом, изучению повторяемости и интенсивности катастрофических климатических явлений, построению длительных древесно-кольцевых хронологий. Обсуждаются перспективы дендрохронологических исследований в мультидисциплинарном проекте Северо-Азиатского трансекта РЕР-II Международной геосферно-биосферной программы и создания геоинформационной системы (ГИС) дендроклиматической информации.

Территория Урала, Сибири и Дальнего Востока, площадь которой составляет $13,7 \cdot 10^6$ км², или свыше 9 % поверхности суши, представляет исключительный интерес при изучении глобальных изменений климата и лесных экосистем. Существование самого крупного массива бореальных лесов естественного происхождения, большая пространственно-временная изменчивость климатических условий и лесных экосистем представляют материал, который содержит глобальную и региональную составляющие. Кроме того, именно в высокоширотных и континентальных районах Сибири ожидается наиболее сильное изменение климата в результате увеличения тепличных газов в атмосфере [1, 2]. Поэтому здесь в первую очередь можно будет зафиксировать и оценить реакцию лесных экосистем на ожидаемые региональные и глобальные изменения климата.

Целью одного из основных проектов IGBP – проекта PAGES (Прошлые Глобальные Изме-

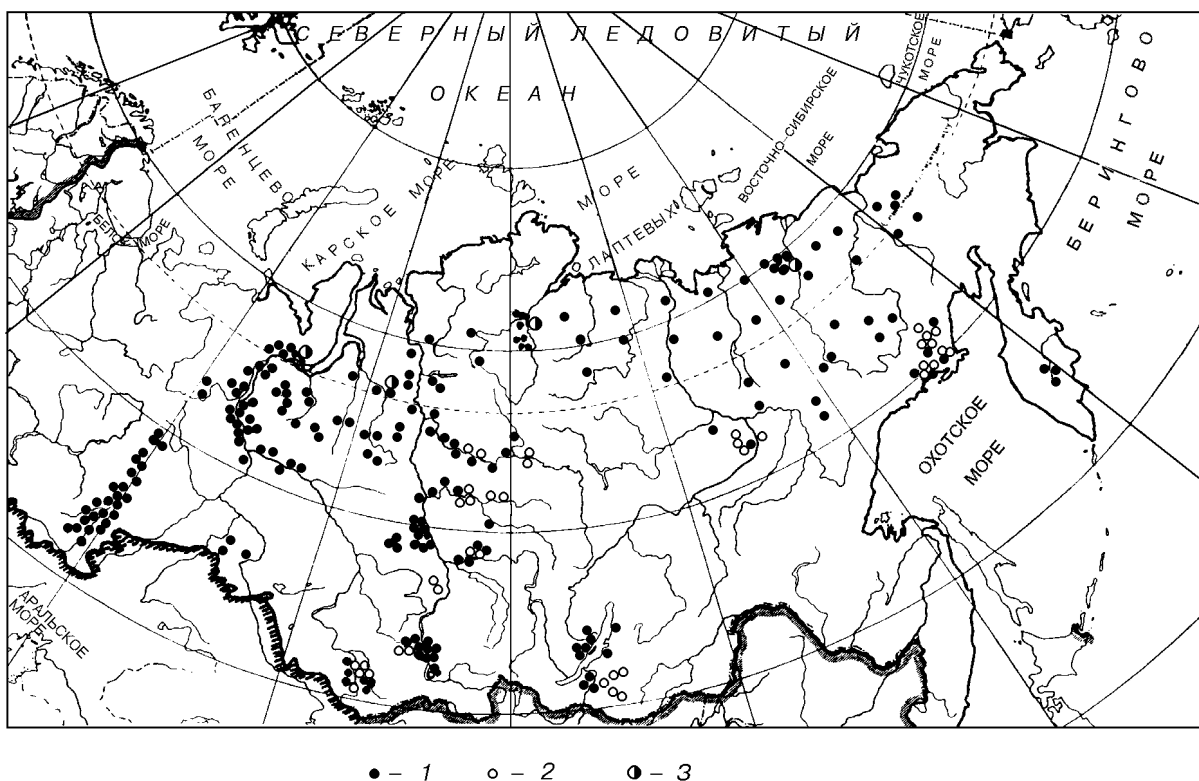
нения) – является изучение и моделирование глобальных изменений на Земле в прошлом с разным временным разрешением (за последние 2000 лет с разрешением в год или сезон и за последние 250 тыс. лет с разрешением в 100 лет) [3]. Исследования в рамках PAGES скоординированы по трем глобальным трансектам Полюс-Экватор-Полюс (РЕР-I, РЕР-II, РЕР-III). Районы Сибири, Урала и Дальнего Востока составляют наиболее важную часть территории Азиатско-Австралийского трансекта (РЕР-II). На территории России в течение нескольких лет выполняются комплексные национальные программы "Глобальные изменения среды и климата" и "Арктика", в ряде проектов которых исследуются закономерности эволюции экосистем под влиянием климата и антропогенных факторов, разрабатываются основы экологического мониторинга.

Важный вклад в оценку прошлых и современных изменений климата на рассматриваемой

мой территории должны внести дендроклиматические и дендрогидрологические исследования. Наличие районов и местообитаний, экстремальных для произрастания деревьев (северная, южная, верхняя и нижняя границы распространения древесных видов и лесных сообществ, заболоченные, скальные, мерзлотные, пойменные и прибрежные местообитания) позволяют проводить не только качественную, но и количественную реконструкцию многих важных климатических и гидрологических характеристик, определяющих изменчивость прироста древесных растений (температура воздуха, осадки, аномалии атмосферного давления, повторяемость и интенсивность засух, сток рек и колебания уровней озер, повторяемость заморозков и др.) [4, 5].

Систематические дендроклиматические исследования на территории Урала, Сибири и Дальнего Востока начаты в конце 1980-х годов, после организации специализированных лабораторий в Екатеринбурге и Красноярске. В это же время активизировалось сотрудничество с

зарубежными лабораториями аналогичного профиля (в частности, Аризонского университета, США, и Института леса, снега и ландшафта, Швейцария). С 1990 г. ведутся совместные работы по Сибирскому субарктическому дендроклиматическому проекту, который является составной и наиболее важной частью Международного циркумполярного субарктического дендроклиматического проекта. Его выполнение заполнило значительный пробел в дендроклиматической информации (главным образом, по изменчивости радиального прироста хвойных и летней температуры) в субарктических районах Северного полушария. Результаты работ опубликованы в монографии и в ряде статей [5–9]. Кроме того, наиболее изученными в дендроклиматическом отношении являются районы, расположенные вдоль Уральского и Енисейского меридианов [10–15], а также Прибайкалье [16]. В ближайшие годы необходимо провести интенсивные дендроклиматические работы в таких малоизученных районах азиатской части России, как Чукотка, Камчатка, горные



Карта-схема древесно-кольцевых хронологий на территории азиатской части России.

1 – построенные обобщенные хронологии по одному или нескольким видам древесных растений; 2 – местоположения, для которых проведены сборы материала; 3 – места сборов материала для построения сверхдлительных древесно-кольцевых хронологий.

хребты между Байкалом и Охотским побережьем, горы Южной Сибири (Алтай, Западные и Восточные Саяны), лесостепные районы Забайкалья (см. рисунок). Исключительно важно также расширить географию дендрогидрологических исследований, целью которых является оценка влияния факторов увлажнения на прирост древесных растений, реконструкция основных гидрологических характеристик территорий, выявление закономерностей пространственно-временной динамики и современных трендов увлажненности, пополнение данных для моделирования общей циркуляции атмосферы. На перспективность таких исследований указывают работы, проведенные на Байкале [17], в пойме нижней Оби [18] и в лесоболотных фитоценозах Томской области [19]. Они позволяют оценивать изменчивость характеристик гидрологического режима рек в пределах больших водосборных бассейнов. Необходимо провести детальные дендрогидрологические работы в поймах крупнейших рек региона (Енисей, Лена, Колыма, Амур), а также в районах крупных озер и водохранилищ (Байкал, Ханка, Норильские озера, Новосибирское, Красноярское, Братское, Усть-Илимское и др.).

В последнее время важное значение в связи с глобальными изменениями климата приобретает изучение повторяемости и интенсивности различных катастрофических явлений, которые оказывают существенное влияние на функционирование и стабильность наземных и водных экосистем. Большинство из них фиксируется в приросте деревьев и в структуре годовых колец [20]. Важнейшие из них – весенние и осенние заморозки, засухи, высокие паводки, сход селей и лавин, шквальные и ураганные ветры, тайфуны. Наиболее изучены такие катастрофические явления, как лесные пожары и массовые вспышки насекомых-вредителей, воздействия которых четко фиксируются в структуре годовых колец и в изменениях прироста деревьев [20–26]. Хотя датировкой катастрофических событий с помощью древесно-кольцевого анализа занимались многие исследователи, однако масштабы проведенных работ явно недостаточны для столь огромной территории, как азиатская часть России.

В восточных районах страны встречается большое количество древней древесины, которая сохранилась до настоящего времени на по-

верхности земли [10, 27–29], в исторических и археологических памятниках [30, 31], а также в новейших голоценовых и плейстоценовых отложениях, в основном в торфяных, аллювиальных и озерных [29, 32, 33]. Радиоуглеродный возраст полуископаемой древесины в высоких широтах достигает 16 тыс. лет [33], в более южных широтах – 50–60 тыс. лет [34, 35]. Для многих районов Урала, Сибири и Дальнего Востока с помощью древней древесины могут быть построены непрерывные, с высоким временным разрешением и точно датированные древесно-кольцевые хронологии длительностью до 9–10 тыс. лет. На их основе могут быть проведены реконструкции колебаний основных климатических и гидрологических переменных, а также осуществлена абсолютная датировка многих важных событий в динамике экосистем и природы в целом. В настоящее время работа по получению сверхдлительных древесно-кольцевых хронологий проводится в двух высокоширотных районах – полуостровах Ямал и Таймыр. На Ямале непрерывная хронология по лиственнице сибирской доведена до 1248 г. до н. э. [32], на Таймыре по лиственнице Гмелина – до 48 г. н. э. [27]. Археологическая древесина из саяно-алтайских курганов позволила построить непрерывную "плавающую" древесно-кольцевую хронологию по лиственнице сибирской длительностью 634 года (примерно с 1000 по 400 г. до н. э.) [30]. Задача ближайшего будущего – усиление работ по построению сверхдлительных хронологий, в первую очередь в экстремальных для произрастания древесных растений районах и местообитаниях (субарктические и высокогорные районы, заболоченные и сухие местообитания).

Климат является одним из главных факторов, который лимитирует продуктивность видов и сообществ в разных районах земного шара. Реакция лесных экосистем на изменения климата, несомненно, является сложной. Рассмотрим только несколько аспектов. Во-первых, это различия в "характерных" временах реакции отдельных компонентов экосистем на климатические изменения. Реакция отдельных деревьев интегрально отражается в приросте (линейном, радиальном, хвои и т. д.). Эта реакция имеет малое время запаздывания (сезон, несколько лет). Реакция древостоя, отраженная в изменении условий конкуренции, размер-

ной или возрастной структуры и аккумулирующая изменения в росте отдельных деревьев, имеет время запаздывания в несколько лет или несколько десятков лет в зависимости от интенсивности ростовых процессов. В сукцессиях лесных экосистем климатические изменения могут проявиться в пределах нескольких десятков или даже сотен лет. Во-вторых, достаточно быстрые изменения климата могут усиливать процессы деградации лесов. Интенсивность гибели лесов увеличивается в результате физических стрессов. Увеличение частоты пожаров может существенно ускорить или изменить ход естественных сукцессий лесных экосистем. Как следствие напряженности физиологических процессов при экстремальных изменениях физической среды увеличивается восприимчивость деревьев к повреждению насекомыми [36]. Изменения климата на региональном уровне могут усиливать повреждающее действие техногенных выбросов и поллютантов [37, 38]. В-третьих, изменения климата оказывают существенное влияние на геохимические циклы, в первую очередь на потоки и запасы углерода в лесных экосистемах [39–41]. Для одних экосистем лимитирующее влияние высоких температур может изменить баланс между аккумуляцией углерода и его разложением в сторону увеличения эмиссии углекислого газа в атмосферу, для других экосистем – наоборот. Изменяя баланс углерода (равно как и баланс азота, влаги и др.), климат изменяет экологические и биосферные функции лесов [42, 43]. Для выработки правильной стратегии экосистемного управления лесами необходима надежная информация об изменениях климата и индуцированных им изменениях функционирования экосистем за длительные интервалы времени. Более того, в различных лесорастительных зонах и секторах климатические изменения могут оказывать неодинаковое воздействие на лесную растительность [44]. Необходима разработка детальных региональных сценариев изменения климата. Важным направлением дендроклиматических исследований становится разработка методических основ дендроклиматического районирования, особенно динамического, и реализация такого районирования для территории азиатской части России. В последнее время предприняты попытки такого районирования на примере субарктических рай-

онов [5, 14, 45]. Выделение районов со сходным откликом древесных растений на климатические переменные обосновывает сеть участков для дендроклиматического мониторинга, определяет территории, однородные по реакции растительности на изменения климата. Работы в субарктической области показали, что границы выявленных дендроклиматических районов хорошо совпадают с границами физико-географических стран, провинций и областей [45] и с климатическими областями и подобластями [46, 47]. Дендроклиматическое районирование должно быть органически вписано в систему дендроклиматического мониторинга лесов России в качестве составной части экологического мониторинга [4, 48].

Одним из важных современных направлений дендроклиматических и дендрогидрологических исследований станут экспериментальные работы по анализу изменчивости прироста древесных растений в ответ на изменения тепло- и влагообеспеченности, проводимые в рамках мультидисциплинарных проектов Международной геосферно-биосферной программы. Ведущим проектом для азиатской части России является проект IGBP-NES (проект Северного Евро-Азиатского трансекта) [49]. Этот проект интегрирует исследования по массовому и энергообмену в наземных экосистемах, динамике биогеохимических превращений основных органических элементов (углерода, азота, воды и др.), исследования по биологическому разнообразию, работы по моделям функционирования лесных и лесотундровых экосистем в связи с четким меридиональным градиентом температуры. Естественно, что дендроклиматические исследования будут важной составной частью работ по данному проекту.

В заключение обсудим еще один важнейший аспект дендроклиматических исследований. Проводимые в разных районах земного шара дендрохронологические работы пополняют базу первичных данных измерений годичных колец и обобщенных древесно-кольцевых хронологий и осуществленных на их основе реконструкций условий внешней среды за длительные интервалы времени и с большим разрешением. Созданный в начале 1970-х годов Международный банк дендрохронологических данных [50] (Боулдер, Колорадо) выполняет функции хранилища информации, но не является со-

временной системой эффективного ее использования для разнообразных экологических задач. Перед специалистами, получающими и анализирующими дендрохронологическую информацию, стоит задача ее адекватной системной организации. Одним из направлений систематизации и эффективной организации многомерной информации является использование ГИС-технологий. Очевидно, что разработка дендроклиматических ГИС, вначале региональных, затем для северной части Азиатского континента, будет одной из первостепенных задач ближайшего будущего.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты 96-04-48258 и 96-07-89101.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Величко, *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1991, 5, 5–22.
2. А. А. Величко, *Изв. РАН. Сер. геогр.*, 1992, 2, 89–102.
3. M.K.Hughes, Tree Rings. From the Past to the Future. Proc. Int. Symp. on Asian and Pacific Dendrochronology, FFPRI, Tsukuba, 1995, 1–7.
4. С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, *Сиб. экол. журн.*, 1998, 1.
5. Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа, Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике, Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1996.
6. K. R. Briffa, P. D. Jones, F. H. Schweingruber *et al.*, *Nature*, 1995, 376, 156–159.
7. K. R. Briffa, P. D. Jones, F. H. Schweingruber *et al.*, *Radiocarbon*, 1996, 25–41.
8. K. R. Briffa, P. D. Jones, F. H. Schweingruber *et al.* Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years (P. Jones, R. Bradley, J. Jouzel, Eds.), Berlin, Springer-Verlag, 1996, 9–41.
9. S. G. Shiyatov, V. S. Mazepa, E. A. Vaganov, F. H. Schweingruber, *Radiocarbon*, 1996, 61–70.
10. С. Г. Шиятов, Дендрохронология верхней границы леса на Урале, М., Наука, 1986.
11. С. Г. Шиятов, Г. Е. Комин, Дендрохронология и дендроклиматология (Г. И. Галазий, ред.), Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1986, 3–19.
12. Г. Е. Комин, *Лесоведение*, 1990, 2, 3–11.
13. Е. А. Ваганов, М. К. Арбатская, А. В. Пашкин, *Сиб. экол. журн.*, 1996, 3: 1, 19–27.
14. И. П. Панюшкина, Е. А. Ваганов, В. В. Шишов, *География и природ. ресурсы*, 1997, 1.
15. Е. А. Ваганов, *Экология*, 1989, 3, 15–23.
16. А. В. Глызин, Динамика радиального прироста деревьев в высокогорьях Забайкалья. Автореф. дис... канд. биол. наук, Иркутск, 1994.
17. Г. И. Галазий, Геоботанические исследования на Байкале, М., Наука, 1967, 44–301.
18. Л. И. Агафонов, *Экология*, 1995, 6, 436–443.
19. Е. А. Ваганов, А. В. Качаев, *Лесоведение*, 1992, 6, 5–19.
20. F. H. Schweingruber, Tree Rings and Environment Dendroecology, Bern, Stuttgart, Vienna, Paul Haupt Publ., 1996.
21. Е. А. Ваганов, И. А. Терсков, Анализ роста дерева по структуре годичных колец, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1977.
22. Е. А. Ваганов, М. К. Арбатская, *Сиб. экол. журн.*, 1996, 3: 1, 9–18.
23. М. К. Арбатская, Е. А. Ваганов, *Лесоведение*, 1996, 6, 73–76.
24. F. H. Schweingruber, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 1979, 130, 1071–1093.
25. М. К. Арбатская, Е. А. Ваганов, *Экология*, 1997, 5.
26. H. C. Fritts, T. W. Swetnam, *Advances Ecol. Res.*, 1989, 19, 111–188.
27. М. М. Наурызбаев, Е. А. Ваганов, *Сиб. экол. журн.*, данный номер.
28. S. G. Shiyatov, Oscillations of the Alpine and Polar Tree Limit in the Holocene (B. Burkhard, Ed.), Stuttgart, Jena, New York, Gustav Fisher Verlag, 1993, 195–203.
29. F. H. Schweingruber, M. M. Naurzbaev, K. R. Briffa, H. H. Loosli. *IAWA Journal*, (in press).
30. L. S. Marsadolov, Tree Rings, *Radiocarbon*, 1996, 557–566.
31. С. Г. Шиятов, Мангазейский морской ход, ч. 1, Л., Гидрометеиздат, 1980, 93–107.
32. Р. М. Хантемиров, А. Ю. Сурков, Проблемы общей и прикладной экологии (Мат. молодежн. конф.), Екатеринбург, 1996, 266–278.
33. К. В. Кремецкий, Г. М. Макдональд, Р. О. Галабала и др., *Ботан. журн.*, 1996, 81: 4, 10–25.
34. Н. А. Хотинский, Голоцен Северной Евразии, М., Наука, 1977.
35. Л. А. Лазарев, А. И. Томская, Млекопитающие и биостратиграфия позднего кайнозоя Северной Якутии, Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1987.
36. А. С. Исаев, Г. И. Гирс, Взаимодействие дерева и насекомых-ксилофагов, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1975.
37. А. Р. Ivshin, S. G. Shiyatov, *Dendrochronologia*, 1995, 13, 113–126.
38. И. В. Симачев, Е. А. Ваганов, Л. Г. Высоцкая, *География и природ. ресурсы*, 1992, 4, 65–73.
39. G. V. Bonan, K. VanCleve, *Can. J. For. Res.*, 1992, 22, 629–639.
40. Е. А. Ваганов, М. К. Hughes, *Water, Air and Soil Poll.*, (in press).
41. A. Day, I. Y. Fung, *Global Biochem. Cycles*, 1993, 7: 3, 599–609.
42. А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, А. И. Уткин и др., *Лесоведение*, 1993, 6, 3–10.
43. А. И. Уткин, Там же, 1995, 5, 3–20.
44. N. M. Tchebakova, R. A. Monserud, R. Leemans, D. I. Nazimova, The Impact of Climate Change on Ecosystems and Species: Terrestrial Ecosystems, IUCN, 1995, 67–82.
45. I. P. Panjushkina, E. A. Vaganov, V. V. Shishov. *Dendrochronologia*, (in press).
46. Б. Л. Алисов, Климат СССР, М., Изд-во МГУ, 1956.
47. А. А. Борисов, Климаты СССР, М., Просвещение, 1967.
48. Ю. А. Израэль, Экология и контроль состояния природной среды, М., Гидрометеиздат, 1984.
49. IGBP-NES. Working Plan., IGBP Secretariat, Stockholm, 1996.
50. C. W. Stockton, W. R. Boggess, D. M. Meko, Paleoclimate Analysis and Modeling (Hecht A. D. ed.), N. Y., John Wiley and Sons, 1985, 71–161.

An Importance of Dendroclimatic and Dendrohydrological Research to Study Global and Regional Problems (Case Study of the Asian Part of Russia)

E. A. VAGANOV, S. G. SHIYATOV

*Institute of Forest Siberian Branch
Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk*

*Institute of Plant and Animal Ecology Ural Branch
Russian Academy of Sciences, Ecaterinburg*

Within the frame work of PAGES there are several main projects which are focused on study and modeling of past global changes with different resolution in time and organized in three global transects. Ural, Siberia and Far East are important parts of the Asian-Australian (PEP-II) transect. Forests in this part of the globe make up about 20 % of the total world forested area and both issues (how the forest ecosystems will respond to future global and regional changes and what were the variations of temperature and moisture in this territory in the past?) are very important. Dendrochronology is a good tool to find the answers for these general and some more detailed questions.

During the last 10 years a systematic dendrochronological research was developed in the above mentioned territory. The wood material from living trees (with intrinsic age of 300 to 700 years) was collected in more than 250 sites, which form the network of stations throughout the territory. Cross-dated, standardized tree-ring width chronologies from contrasting ecological sites (in polar and upper timberline, in forest-steppe transition zone) as well as inside the subzones of northern, middle and southern taiga were designed. Using the cross-correlations between local chronologies and analysis of climatic response functions, dendroclimatic zoning in some large regions was made. Such zoning has to be a natural part of the whole Russian system of ecological monitoring. During the last years some important results were obtained in the reconstruction of past climatic changes inferred from tree-rings. For instance, for the Ural and Siberian Subarctic, maps of summer temperature anomalies were drawn up for the period of 1600 to 1990 years. Good perspectives are shown in the reconstruction of precipitation and river flow fluctuations for large territories in West Siberia. An interesting research was made in reconstruction of fire frequency using tree-ring chronologies in both ways: 1) as an indirect record of fire frequency and 2) calendar scale of dating the fires according to fire scars. For some remarkable sites with a lot of dead wood, material and subfossil wood supra-long chronologies (up to several millennia) were designed, which show the long-term variation of temperature and moisture regime in different of the Holocene.

The modern development of dendroclimatic and dendrohydrological network in boreal zone of Asia is connected with establishment of GIS and usage of tree-ring data in evaluation of some parameters of carbon cycle in forest ecosystems.