БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 551.583.7:556.54(282.256.6)

Перспективы дендрохронологических исследований палеоклимата в районе дельты р. Лены

Д.В. Овчинников, А.Н. Николаев, А.В. Кирдянов, У. Бюнтген,
Л. Хеллманн, В.Тегель, А.И. Колмогоров, Д.А. Машуков

Одним из способов реконструкции палеоклимата являются дендрохронологические измерения. На сегодняшний день существует лишь несколько регионов, для которых стало возможным построение древесно-кольцевых хронологий, чувствительных к климатическим изменениям и охватывающих период длительностью более тысячи лет. Явные пробелы в глобальном распределении длительных региональных хронологий заставляют ученых искать возможности для построения новых временных серий и повышения качества реконструкции климата прошлого на основе годичных колец деревьев. Представлена оценка потенциала проведения дендроклиматических исследований в районе дельты р. Лены. На основе материалов экспедиционных работ 2013–2014 гг. обсуждается возможность построения длительной хронологии для севера Якутии, которая может стать ключевой для палеоклиматических реконструкций на региональном и глобальном уровнях. Рассматривается перспективность использования плавника как палеоклиматического архива для всей циркумполярной области Северного полушария. Предлагаются к рассмотрению несколько исследовательских направлений и задач в уникальном по своему потенциалу регионе – дельте р. Лены.

Ключевые слова: дендрохронология, Восточная Сибирь, дельта Лены, арктический плавник, палеоклиматология, палеоклиматический архив, погребенная древесина.

One of the ways of reconstruction of a palaeoclimate are dendrochronological measurements. Today, there are only a few regions where construction of millennium-long sensitive to climate tree ring chronologies is possible. Gaps in global distribution of long regional chronologies make scientists search for possibilities to build new time-series and increase of quality of past climate reconstructions based on tree-rings. Here we present the prospects for dendroclimatic research in the Lena River Delta. Based on the materials of expeditions accomplished in 2013-2014 we discuss the possibilities to construct a new millennia-long chronology for the northern regions of Yakutia, that could become the key chronology for paleoclimatic reconstructions in both regional and global scale. The prospects to use the driftwood as a paleoclimatic archive for the whole circumpolar area of the Northern Hemisphere are discussed. Some new scientific directions and tasks for the unique region, the Lena River Delta are proposed to consider.

Key words: Arctic driftwood, dendroclimatology, Eastern Siberia, high-resolution palaeoclimatology, proxy archives, subfossil wood.

ОВЧИННИКОВ Дмитрий Викторович – к.б.н., с.н.с. Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, dovch@mail.ru; НИКОЛАЕВ Анатолий Николаевич – д.б.н., директор Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета, Институт мерзлотоведения СО РАН, 8(964)418-06-25; КИРДЯНОВ Александр Викторович – к.б.н., с.н.с. Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Сибирский федеральный университет, Красноярск, kirdyanov@ksc.krasn.ru; БЮНТГЕН Ульф – Swiss Federal Research Institute WSL, Switzerland Oeschger Centre for Climate Change Research (OCCR), Switzerland Global Change Research Centre AS CR, Czech Republic; ХЕЛЛМАНН Лена – Swiss Federal Research Institute WSL, Switzerland; ТЕГЕЛЬ Вилли – Freiburg University, Germany; КОЛМОГОРОВ Алексей Иванович – аспирант Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета, kilatrooon@mail.ru; МАШУКОВ Дмитрий Александрович – аспирант Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН.

Арктика является одним из самых чувствительных к изменению климата регионов планеты, где реакция экосистем на любые воздействия отчетливо проявляется в различных пространственно-временных масштабах. В литературе наиболее активно обсуждается увеличение температуры земной поверхности в высоких широтах Северного полушария примерно на 0,9 °С в течение двадцатого века (ACIA, 2005) на фоне значительного уменьшения площади приполярного морского ледяного покрова и глубины вечной мерзлоты [1–3].

Окружающая среда Арктики весьма чувствительна даже к незначительным климатическим изменениям. Однако исследование современных изменений окружающей среды в высоких широтах Северного полушария в долгосрочном контексте осложняется слишком короткими метеорологическими наблюдениями и слишком малым количеством палеоклиматических архивов. В этой связи наличие плавника и погребенной древесины представляет собой уникальный междисциплинарный архив на стыке морских и земных экосистем и процессов. Применительно к нашему району исследований дельта р. Лены представляет собой идеальный полигон, так как здесь в хронологической последовательности накапливается значительная часть древесины, дрейфующей в результате паводков или иных причин в сторону Северного Ледовитого океана. В конечном итоге, основываясь именно на данных по распределению дрейфующей древесины, возможно восстановить пространственно-временные изменения океанических течений в циркумполярной области Северного полушария и более точно оценить послеледниковые темпы изменения арктических экосистем.

Бассейн р. Лены по площади составляет 2,488 млн. км^2, что сопоставимо с размерами Центральной Европы, и является одним из крупнейших водосборов Земли [4–6]. Длина реки достигает более 4500 км, а ее исток расположен в Байкальском хребте на высоте примерно 1600 м над уровнем моря (58° N и 108° в.д.). Лена пересекает зоны бореальных лесов, тайги и тундры, формируя затем гигантскую систему дельты примерно между 72°с.ш. и 74°с.ш. [7], являющуюся величайшей в мире. Летом скорость потока в нижнем течении Лены составляет 2–2,5 м/с. В дополнение к колоссальному количеству пресной воды (порядка 588 км^3) и беспрецедентному количеству растворенного органического углерода (DOC; 5700×109 г), доставляемому в море Лаптевых ежегодно [5], обширный водораздел р. Лены (примерно 2,5×106 км^2 и около 14% от панарктического водораздела) является обильным источником арктического плавника древесины [8, 9].

Общий объем плавника, видовой состав деревьев, сложные транспортные механизмы и эрозионные процессы, связанные с его накоплением, мало изучены. Дельта р. Лены площадью более 30 тыс. км^2 состоит из более чем 1500 островов средней высотой 0–10 м над уровнем моря и представляет собой уникальный аккумулирующий резервуар для деревьев бореальной зоны, располагаясь за северной границей распространения лесной растительности. Сложный комплекс современной, мертвой и погребенной древесины, начиная от небольших фрагментов до крупных деревьев, был сформирован путем естественного захоронения в результате водной транспортировки.

Неоднородный состав плавника в первой пойменной террасе дельты р. Лены, по-видимому, охватывает большую часть голоцена [10], в течение которого низкие годичные темпы органической продуктивности, связанные с общими медленными биохимическими циклами и процессами, формировали весьма умеренные слои осадка из органического детрита. Протяженные береговые линии и активная эрозия склонов способствуют формированию естественных захоронений древесины в пойменной зоне реки, при этом качество материала весьма высокое (рис. 1, 2).

Данные условия преимущественно зависят сейчас и будут зависеть в будущем от увеличения стока рек и оттаивания вечной мерзлоты [5, 11], а также уменьшения площади морского льда [12] – процессов, являющихся серьезным

Рис. 1. Фотография скопления плавника разного возраста, обрывистый берег о. Самойловский
Самое толстое бревно выпирает из обнажения, сверху мощный слой торфяных отложений, пронизанный мерзлотой, которая активно тает. Примерный возраст дерева – средний голоцен. Рядом можно наблюдать современную древесину, принесенную паводками (Фото Д.В. Овчинникова, 2014 г.)

Рис. 2. Фотография ствола лиственницы, находящейся в центральной части о. Самойловский на верхней террасе.
Дерево явно принесено паводком с верховьев р. Лены, оно хорошо сохранилось, хотя на три четверти покрыто моховым и травяным покровом (Фото Д.В. Овчинникова, 2014 г.)

следствием прогнозируемого изменения климата [13]. Следовательно, возможность использовать этот материал для палеоклиматических исследований является своевременной как никогда прежде, особенно для северных широт в Восточной Сибири, где надежные записи о климате прошлого достаточно скудны [14, 15]. Всего несколько реконструкций летней температуры, основанные на годичных кольцах деревьев, были построены до настоящего времени для Центральной и Восточной Сибири [16–18]. Особый акцент следует сделать на абсолютно датированных панарктических архивах годичного разрешения, которые могут непрерывно охватывать последнее тысячелетие и распространяться дальше вглубь времен.

Абсолютно датированные древесно-кольцевые хронологии по ширине годичных колец с высоким (погодичным) разрешением могут обеспечить уникальные возможности для восстановления прошлых климатических условий [19]. Сочетание живых деревьев и реликтового материала позволяет строить непрерывные хронологии, длительность которых изменяется от нескольких веков до тысячелетий [20], и которые, в конечном счете, представляют собой важные палеоэкологические архивы [13]. Арктический плавник, происходящий исключительно из приполярной зоны бореальных лесов, переносимый океаническими течениями и накапливаемый на мелководных побережьях, является уникальным благодаря его пространственному перемещению и способности хорошо сохраняться в течение большей части голоцена [8]. Поэтому принесенная речным стоком древесина является важным палеоархивом на стыке исследования морских и земных экосистем и процессов.

Плавник может содержать информацию об экологических условиях, которые были во время жизни деревьев, а также отражать изменения в условиях лесопользования [21]. Современные изменения скорости речного стока, динамику океанических течений и количество послеледниковых потеплений, возможно, оценить, если исследовать большие массивы плавника. Абсолютный возраст и точное происхождение каждого образца древесины, возможно, определить посредством применения традиционных дендрохронологических и анатомических методов.

Циркумполярные исследования на территории севернее 60 ° параллели, которая включает в себя Гренландию, Исландию и Аляску, а также часть Канады, вместе с массивной базой данных Евразийских бореальных лесов, идеально группируются под междисциплинарной эгидой PAGES (www.pagesgbp.org/workinggroups/arctic2k/). Кроме того, появление нескольких доступных изотопных и генетических технологий в настоящее время открывает уникальную возможность не только для описания палеоклиматических факторов, но также для установления возраста и происхождения этих древних архивов.

В 2013–2014 гг. в дельте р. Лены были инициированы обширные исследования плавника с активным применением дендрохронологических методов и подходов. Предварительный анализ показал, что качество и количество материала (т.е. содержание древесины, а также число годичных колец и образцов разных видов деревьев) из погребенных и часто обледенелых субфоссильных останков различаются. Весь плавник принесен из районов постоянного и прерывистого распространения вечной мерзлоты в Якутии в зоне бореальных лесов, либо с участков по самой р. Лене или из лесных массивов вблизи основных притоков рек Витим, Олекма, Алдан и Вилюй. Поэтому значительная часть материала потенциально должна быть весьма чувствительна к перепадам температур [22].

Предварительная основа подобного рода ожиданий сформирована ранее. Например, межгодовые и вековые вариации годичного роста отражают изменения летней температуры, которые происходят во время достаточно короткого вегетационного периода в течение июня–августа [23, 24], когда метаболизм фотосинтеза продлевает дневное время на «ночь». Плавник из Якутии в основном включает в себя медленно растущие лиственницы (*Larix spp.*), которые характеризуются малыми диаметрами стволов, узкими годичными кольцами и наличием корне-

вой шейки. Процент найденной древесины относительно низкий по сравнению с другими реками Центральной Сибири, например, с Енисеем [9], где сплавляют больше деревьев. и, таким образом, древесине легче попасть в Северный Ледовитый океан. Кроме того, р. Енисей не образует блокирующую дельту. Следует отметить, что в пределах водораздела Лены плотность населения составляет всего 0,4 человека/км^2, тогда как в бассейне Енисея – 3,0 человека/км^2 [5]. На основе материалов, полученных в ходе швейцарско-германо-российской экспедиции на Лене, в том числе первичного обследования образцов, были определены приоритеты одиннадцати взаимосвязанных исследовательских направлений: 1 – построить длительные древесно-кольцевые хронологии по ширине годичных колец по живым, мертвым и погребенным деревьям, охватывающие прошлое тысячелетие с высокой репликацией образцов; 2 – использовать абсолютно датированные и годичного разрешения архивы, дополнив несколькими их радиоуглеродными датировками, чтобы проследить возможные даты наводнений и происхождение арктического плавника; 3 – изучить отклик роста деревьев на изменение климатических факторов путем калибровки с инструментальными измерениями; 4 – выполнить измерения анатомии, плотности, изотопного состава и химии древесины, а также древней ДНК или других характеристик для выбранной совокупности годичных колец; 5 – реконструировать долгосрочные изменения летней температуры и частоту лесных пожаров, являющуюся основным нарушающим и главным регулирующим фактором в бореальной зоне; 6 – оценить основанную на дендрохронологии историю климата высокого разрешения в сравнении с независимыми архивами с низким разрешением в течение голоцена и с арктическими архивами посредством мультипараметрических подходов; 7 – использовать исторические дендрохронологические даты, чтобы уточнить даты формирования слоев осадка и датировку торфяников, расширить знания о временной динамике арктических речных процессов; 8 – оценить потенциальный вклад плавника в терригенные потоки органического вещества из земных экосистем в морские и рассчитать соответствующие уточнения циклов углерода и бюджетов в региональных и глобальных биогеохимических оценочных моделях типа «источник–резервуар»; 9 – усилить междисциплинарный импульс на стыке исследования приполярных наземных, водных и морских экосистем; 10 – координировать и более эффективно обмениваться научно-исследовательскими данными и инфраструктурой, направленными в сторону прямой научной взаимосвязи и качественного успеха по привлечению средств [6]; 11 – осознать палеоклиматический потенциал других, гораздо меньших панарктических дельтовых речных систем, таких как канадская р. Маккензи и р. Яна в Восточной Якутии, согласно пунктам 1–10. В данной публикации освещены вопросы, кажущиеся особенно важными вследствие географического разрыва в современных палеоклиматических исследованиях: для Северного полушария и глобальных реконструкций температуры можно получить дополнительную информацию из новых палеоклиматических записей, которые характеризуют Северо-Восточную Сибирь в позднем голоцене. В свою очередь, по создаваемой древесно-кольцевой хронологии планируется проследить действительное происхождение арктического плавника.

Таким образом, район исследования – дельта р. Лены и ее бассейн – обладает всеми необходимыми уникальными признаками и потенциальными ресурсами для решения сформулированных в рамках данной публикации проблем. Основной акцент сфокусирован на древесине (плавник) как достоверном косвенном источнике информации о динамике различных природных процессов в течение всего голоцена. Предварительные итоги исследований в субарктических регионах Западного и Восточного полушарий, отраженные в ряде зарубежных публикаций, упомянутых ранее, свидетельствуют о значительном потенциале и перспективах междисциплинарных исследований.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ 14–14–00295 (анализ материала и экспедиции 2014 г.). Экспедиционные работы и экспресс-анализ материала в 2013 г. проведены при поддержке грантов РФФИ – 12–04–00542, 13–05–00620 и 12–06–98504-р_восток_а, Интеграционного проекта СО РАН №34 и проекта Президиума РАН №23.6, проектной части НИР ГЗ МОН РФ (задание №5.184.2014/К). Работы также были поддержаны Северо-Восточным федеральным университетом им. М.К. Аммосова в рамках выполнения проекта 1.3 Программы развития СВФУ.

Литература

1. *Израэль Ю.А., Павлов А.В., Анохин Ю.А.* Анализ современных и ожидаемых в будущем изменений климата и криолитозоны в северных регионах России // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 18–26.

2. *Анисимов О.А., Белолуцкая М.А.* Влияние изменения климата на вечную мерзлоту: прогноз и оценка неопределенности // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем / Под ред. Ю.А. Израэль. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – С.21–38.

3. *Балобаев В.Т., Гаврилова М.К., Скачков Ю.Б. и др.* Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии: препринт. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. – 64 с.

4. *Аржакова С.К.* Зимний сток рек криолитозоны России: монография. – СПб.: РГГМУ, 2001. – 209 с .

5. *Holmes R.M., McClelland J.W., Peterson B.J. et al.* (2012). Seasonal and annual fluxes of nutrients and organic matter from large rivers to the Arctic Ocean and surrounding seas. Estuaries and Coasts 35: 369–382.

6. *Hubberten H-W., Wagner D., Pfeiffer E-M. et. al.* (2003). The Russian-German research station Samoylov, Lena Delta – A key site for polar research in the Siberian Arctic. Polarforschung 73: 111–116.

7. *Walker H.J.* (1998). Arctic deltas. Journal of Coastal Research 14:719–738.

8. *Funder S., Goosse H., Jepsen H. et al.* (2011). A 10,000-year record of Arctic Ocean sea-ice variability – View from the beach. Science 333: 747–750.

9. *Hellmann L., Tegel W., Eggertsson Ó. et al.* (2013). Tracing the origin of Arctic driftwood. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences 118: 68–76.

10. *Schirrmeister L., Grosse G., Schnelle M. et al.* (2011). Late Quaternary paleoenvironmental records from the western Lena 630 The Holocene 24(5).

11. *Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W. et al.* (2002). Increasing river discharge to the Arctic Ocean. Science 298: 2171–2173.

12. *Kinnard C., Zdanowicz C.M., Fisher D.A. et al.* (2011). Reconstructed changes in Arctic sea ice over the past 1450 years. Nature 479: 509–512.

13. *Intergovernmental* Panel on Climate Change (IPCC) (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge; New York: Cambridge University Press.

14. *Kaufman D.S., Schneider D.P. and McKay N.P.* (2009). Recent warming reverses long-term Arctic cooling. Science 325: 1236–1239.

15. *Past* Global Changes (PAGES) 2k Consortium (2013). Continental-scale temperature variability during the past two millennia. Nature Geoscience 6: 339–346.

16. *Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф.* Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летних температур // География и природные ресурсы. – 2002. – № 1. – С. 102–108.

17. *Наурзбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В.* Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий // Криосфера Земли. – 2003. – Т. VII, №2. – С. 84–91.

18. *Сидорова О.В., Наурзбаев М.М.* Реконструкция температуры воздуха за последние 2000 лет по данным годичных колец лиственницы востока Таймыра и северо-востока Якутии // Сибирский экологический журнал. – 2005. – №1. – С. 51–60.

19. *Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H.* (2002). Low-Frequency Signals in Long Tree-Ring Chronologies for Reconstructing Past Temperature Variability. Science 22: 2250–2253.

20. *Büntgen U., Raible C., Frank D. et al.* (2011). Causes and consequences of past and projected Scandinavian summer temperatures, 500–2100 AD, PLOS ONE, 6 (9), e25133. Doi:10.1371/journal.

21. *Johansen S.* (1998). The origin and age of driftwood on Jan Mayen. Polar Research 17 (2): 125–146.

22. *Esper J., Frank D., Büntgen U. et al.* (2010). Trends and uncertainties in Siberian indicators of 20th century warming. Global Change Biology 16: 386–398.

23. *Kirdyanov A., Hughes M., Vaganov E. et al.* (2003). The importance of early summer temperature and date of snow melt for tree growth in the Siberian Subarctic. Trees 17: 61–69.

24. *Николаев А.Н., Исаев А.П., Федоров П.П.* Радиальный прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии в связи с изменением климата за последние 120 лет // Экология. – 2011. – № 4. – С. 243–250.

Поступила в редакцию 17.11.2014

УДК 574.42+630·161

Динамика флористического состава и растительности в пораженных сибирским шелкопрядом лиственничных лесах Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия)

И.И. Чикидов, П.А.Тимофеев

Мониторинг восстановления растительности в лесах, пораженных сибирским шелкопрядом, является актуальной экологической и лесоводческой задачей. Установлено, что начальный этап восста-

ЧИКИДОВ Иван Иванович – к.б.н., с.н.с. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, Институт естественных наук Северо-Восточного федерального университета, chikidov@rambler.ru; ТИМОФЕЕВ Петр Алексеевич – к.б.н., проф. Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета, timpa@inbox.ru.