

УДК 551.583.(3+4) + 581.522.5

**Индикация аномальных погодных явлений
по данным изучения древесины
дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)
из средней полосы Европейской России**

Б.Ф. Хасанов*

*Институт проблем экологии и эволюции
им. А. Н. Северцова РАН,
Россия 119071, Москва, Ленинский пр. 33¹*

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

Изучены случаи образования узкой зоны поздней древесины (УПД) у деревьев дуба черешчатого из пойменных местообитаний юга Тверской области. Полученный массив данных был разделён на четыре класса в соответствии с возрастом дерева в год образования УПД: моложе 50, от 50 до 100, от 100 до 150 и более 150 лет. Анализ доли деревьев, сформировавших УПД, проводился независимо как для всей совокупности, так и для указанных возрастных классов. Для выделения климатических факторов, определяющих долю деревьев с УПД, была построена обобщённая линейная модель (GLM), связывающая величины метеорологических и гидрологических показателей с частотой встречаемости УПД у деревьев дуба разных возрастных классов. Оказалось, что доля деревьев в возрасте от 50 до 100 лет, сформировавших УПД, зависит от гидрологических условий лета и температурных условий осени предыдущего года, температурных условий зимы и весны, а также характера весеннего паводка. Высокая (больше 0,6) доля деревьев с УПД характеризует годы, в которые наблюдалось сочетание погодных аномалий зимнего и весеннего сезонов.

*Ключевые слова: анатомия древесины, дендрохронология, климат, аномальные погодные явления, *Quercus robur* L., средняя полоса европейской части России.*

Введение

Разнообразные аномальные погодные явления оказывают значительное воздействие на долговременную динамику биогео-

ценозов. Такие события, как очень морозные зимы, поздневесенние заморозки, продолжительные периоды жаркой погоды и т. д., могут приводить к вымиранию популяций

* Corresponding author E-mail address: bulatfk@gmail.com

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

отдельных видов, влияют на морфологию, поведение и размножение животных, структуру растительных сообществ и даже на вспышки инфекционных заболеваний (Parmesan et al., 2000; Маслов, 2004; Соловьёв, 2005). Климатические аномалии воздействуют и на продуктивность морских экосистем (Nagasawa, 2001). Накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют о непостоянстве частот погодных аномалий во времени (Glaser, Stangl, 2004; Хоплаки et al., 2005). Однако достоверный и основательный анализ изменений повторяемости погодных экстремумов во времени возможен только на основе дополнения рядов инструментальных метеорологических наблюдений косвенными данными. Эта цель достигается, с одной стороны, с помощью историко-климатологических исследований летописных свидетельств и иных документов (Борисенков, Пасецкий, 1988; Brazdil et al., 2005), с другой – посредством изучения особенностей анатомического строения годичных колец деревьев, формирующихся как ответ на аномальные климатические события (Хантемиров и др., 2011).

С этой точки зрения древесина дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и близких (*Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. macrocarpa* Michaux) видов представляет особый интерес. Во-первых, вследствие своей хорошей сохранности субфоссильные деревья дуба широко представлены в отложениях различного генезиса. К настоящему времени построено довольно большое количество длинных и сверхдлинных древесно-кольцевых хронологий по древесине различных видов дуба. Такие хронологии есть для территории Западной (Spurk et al., 2002) и Центральной (Krajes, 1998) Европы, для Среднего Запада США (Stambaugh, Guyette, 2009), находки субфоссильных деревьев дуба известны для Белоруссии (Битвинкас, 1981; Карпавичиус,

2001) и средней полосы европейской части России (Хасанов, 2002). Это создаёт материальную основу для построения масштабных пространственно-временных реконструкций аномальных погодных явлений.

Во-вторых, широкий спектр элементов, из которых состоит древесина дуба, обуславливает разнообразие анатомических особенностей её строения, возникающих после неблагоприятных внешних воздействий. Так, значительное уменьшение просветов сосудов ранней древесины дуба отмечалось после особенно высоких и продолжительных весенних паводков (St. George, Nielsen, 2000). Напротив, высокие летние паводки приводят к формированию особой зоны между ранней и поздней древесиной (Astrade, Begin, 1997). Воздействие экстремально низких зимних температур вызывает характерные нарушения развития ранней древесины (Большевцев, 1961, 1970; Tapper et al., 1978; Кучеров, 1990), а также образование так называемой внутренней заболони (Dujesiefken et al., 1984). Уже этот перечень наблюдений свидетельствует о большой информативности древесины дуба с точки зрения реконструкции повторяемости аномальных погодных явлений.

Отметим, однако, что все вышеперечисленные особенности анатомического строения затрагивают зону ранней древесины. Данная работа посвящена анализу поздней древесины дуба черешчатого, а именно тех нередких случаев, когда эта зона совершенно не выражена или заметно меньше ранней древесины по ширине. Ответы на следующие вопросы представляются особенно важными для разработки методов индикации аномальных погодных явлений по дендрохронологическим данным: 1. Какие метеорологические факторы влияют на частоту встречаемости узкой зоны поздней древесины (далее в тексте УПД) у деревьев дуба черешчатого? 2. Со-

ответствуют ли годы с высокой долей деревьев, сформировавших УПД, экстремальным значениям метеорологических факторов? 3. Одинакова ли частота встречаемости УПД у деревьев разных возрастных классов?

Материалы и методы

Образцы древесины с живых деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) были собраны в Западнодвинском районе Тверской области в ходе полевых работ в 1997, 2009 и 2011 гг. Сбор образцов был проведён в трёх пойменных лесных массивах, расположенных в долинах р. Западная Двина (56° 11' 53" с. ш., 32° 06' 10" в. д.) и её притока р. Велеса (56° 03' 12" с. ш., 31° 58' 17" в. д.; 56° 02' 30" с. ш., 31° 58' 17" в. д.). Все три точки отбора проб характеризуются сходным типом растительности. В сложении первого яруса помимо дуба принимает участие осина (*Populus tremula*) и берёза белая (*Betula alba*), единично встречается вяз голый (*Ulmus glabra*), липа сердцевидная (*Tilia cordata*), ель европейская (*Picea abies*). Второй ярус сложен вышеперечисленными видами деревьев и черемухой птичьей (*Padus avium*). В ярусе кустарников обильны крушина ломкая (*Frangula alnus*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa*), жимолость лесная (*Lonicera xylosteum*). В травяном ярусе доминируют таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*) и крапива двудомная (*Urtica dioica*), встречаются хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), гравилат речной (*Geum rivale*), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), ластовень лекарственный (*Vincetoxicum hirundinaria*), будра плющевидная (*Glechoma hederacea*), зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum*), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*), бодяк болотный (*Cirsium palustre*).

Стволы деревьев обвивает хмель (*Humulus lupulus*).

Образцы древесины были собраны с помощью возрастного бура. У каждого дерева брали от 1 до 3 кернов с разных сторон ствола. Поскольку основная цель работы заключалась в исследовании анатомических особенностей годичных колец, а строение ювенильной и зрелой древесины сильно отличается, наряду с наиболее старыми деревьями по возможности отбирались деревья первого яруса всех возрастных групп. Всего мы собрали образцы древесины с 53 деревьев (97 кернов). В лаборатории керны были смонтированы на деревянные подложки и отшлифованы согласно стандартной методике (Stokes, Smiley, 1996).

Для сравнения данных изучения анатомических особенностей строения древесины с метеорологическими показателями были использованы данные суточных инструментальных наблюдений, проведённых на метеостанции г. Великие Луки. Эти данные находятся в свободном доступе в Интернете на сайте European Climate Assessment and Dataset по адресу <http://eca.knmi.nl> (Klein Tank et al., 2002). Поскольку объектом исследования были деревья из пойменных местообитаний, ряд метеорологических наблюдений был дополнен гидрологическими показателями. Данные измерений расхода воды, проведённых на гидрологическом пункте г. Западная Двина, были получены из Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГ-МИ – МЦД).

Подготовленные к анализу керны были подвергнуты перекрёстному датированию (Stokes, Smiley, 1996), после чего у каждого образца были выделены годы образования УПД. Под УПД понимались те случаи, в которых поздняя древесина была совершенно

не развита или её ширина была меньше зоны ранней древесины. Для каждого образца древесины был определён год образования УПД и возраст дерева в этот момент времени. В тех случаях, в которых керн проходил мимо сердцевины дерева, возраст оценивался по уравнению линейной регрессии возраста на радиус, рассчитанному для кернов с сердцевиной. Однако в последующем анализе рассматривался не собственно возраст дерева, а принадлежность к одному из четырёх возрастных классов (меньше 50, от 50 до 100, от 100 до 150 и более 150 лет).

Таким образом, для каждого календарного года и каждого возрастного класса было получено процентное соотношение деревьев с УПД и без такой зоны. Определить, какие климатические факторы обуславливают высокую долю в выборке деревьев с УПД, можно путём построения регрессионных моделей зависимости доли деревьев с УПД от метеорологических показателей. Однако такие процентные данные имеют ряд особенностей (изменяются от 0 до 1, их отклонение зависит от среднего значения), которые не позволяют применять линейные модели. Для построения регрессионных моделей для процентных данных был разработан (см., например, Crawley, 2007) специальный класс обобщённых линейных моделей (Generalized Linear Model, далее в тексте GLM). Суть метода в том, что для нескольких независимых переменных рассчитывается линейный предиктор, который в свою очередь преобразуется логистической функцией. Параметры этой функции подбираются в соответствии со значениями зависимой переменной. В качестве последней использовали процентные соотношения деревьев разных возрастных классов с УПД и без такой зоны, а в качестве независимых переменных – данные инструментальных метеорологических и гидрологических наблюдений.

Построение минимальной, т.е. содержащей наименьшее количество параметров, модели (GLM) осуществляли в два этапа. Сначала доля деревьев с УПД сравнивалась со среднемесячными значениями температуры и осадков для широко распространённого в дендрохронологических исследованиях периода с апреля предыдущего до августа текущего года. Использование этих параметров не позволило создать удовлетворительную GLM, однако выделило важные для образования УПД сезоны: лето и сентябрь предыдущего года, предшествующую зиму и май текущего года. При этом наибольшее значение имеют осадки лета предыдущего года, температурные условия предшествующих осени и зимы, температурные условия мая. Исходя из этих предварительных результатов были рассчитаны следующие метеорологические показатели:

Для лета предыдущего года: сумма осадков лета, сумма осадков июля – августа, самая сухая 21-дневка первой половины лета, самая сухая 21-дневка середины лета, самая сухая 21-дневка второй половины лета, самая влажная 21-дневка первой половины лета, самая влажная 21-дневка середины лета, самая влажная 21-дневка второй половины лета, самая сухая и самая влажная 21-дневка лета.

Для осени предыдущего года: дата первого заморозка, абсолютный температурный минимум августа, абсолютный температурный минимум сентября, средняя минимальная температура периода с 15 августа по 15 сентября.

Для предшествующей зимы: минимальная среднесуточная температура зимы, абсолютный температурный минимум зимы, самая холодная трёх-, пяти- и семидневка зимы.

Для весны: дата самого позднего весеннего заморозка, сумма среднесуточных темпе-

ратур выше 5 градусов, накопленная до даты самого позднего весеннего заморозка, средняя температура для периода с 11 по 31 мая и для периода с 11 мая по 10 июня, средняя минимальная температура с 20 мая по 10 июня, абсолютный температурный минимум мая, абсолютный температурный минимум июня.

На втором этапе GLM строилась для различных комбинаций этих показателей и среднемесячных расходов воды р. Западная Двина. Выбор наилучшей модели осуществлялся на основе информационного критерия Акаике. Все расчёты были выполнены в среде R (R Development Core Team, 2010), доступной на сайте <http://cran.r-project.org/>.

Результаты

Исследование образцов древесины дуба черешчатого позволило построить временной ряд изменений доли деревьев с УПД, охватывающий период с 1826 по 2010 гг. Всего было изучено 7586 годичных колец. На рис. 1 представлено количество деревьев, чей возраст в данный календарный год этого временного интервала соответствовал одному из пред-

варительно выделенных возрастных классов. Хорошо видно, что число деревьев в возрасте, превышающем 150 лет, недостаточно для анализа, поэтому GLM рассчитывали только для более молодых деревьев. Период, для которого метеорологические данные представлены наиболее полно, совпадает по времени с интервалом, в котором содержится наибольшее число деревьев оставшихся возрастных классов. Калибровка GLM была осуществлена для периода с 1936 до 1995 гг., при этом наличие пропущенных значений в ряду метеорологических показателей, обусловленных прежде всего Второй мировой войной, уменьшило число исследованных случаев до 41.

Из всех опробованных вариантов сочетаний метеорологических и гидрологических показателей, с одной стороны, и деревьев трёх возрастных классов – с другой, наилучшей оказалась GLM, связывающая долю деревьев в возрасте от 50 до 100 лет, у которых образовалась УПД, с климатическими факторами, перечисленными в табл. 1. Там же приведены значения коэффициентов этих факторов, на основе которых в GLM рассчитывается вели-

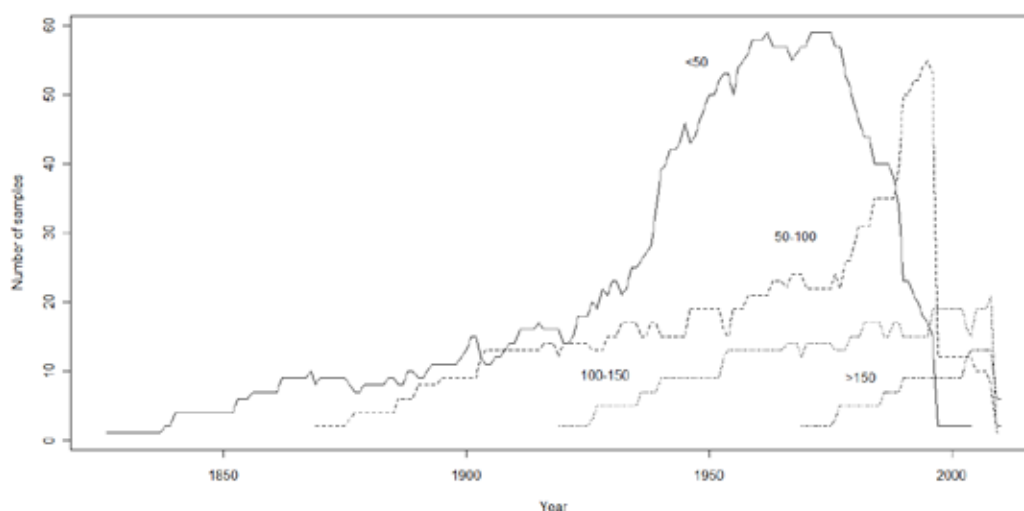


Рис. 1. Число изученных деревьев, принадлежащих одному из предварительно выделенных возрастных классов, в данный календарный год

Таблица 1. Метеорологические и гидрологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на долю деревьев с узкой зоной поздней древесины (УПД), значения их коэффициентов в обобщённой линейной модели (GLM) и уровни их значимости

Климатические и гидрологические факторы	Коэффициент	Уровень значимости
Среднемесячный расход воды в августе предыдущего года, м ³ /с	-0,059618	3,22e-07
Абсолютный температурный минимум августа предыдущего года, °С	0,126229	0,00179
Абсолютный температурный минимум сентября предыдущего года, °С	0,178823	4,16e-06
Минимальная среднесуточная температура предшествующей зимы, °С	-0,036116	0,01077
Среднемесячный расход воды в мае, м ³ /с	0,007630	0,04447
Средняя минимальная температура с 20 мая по 10 июня, °С	-0,294930	1,38e-08
Абсолютный температурный минимум июня, °С	0,110915	0,01724

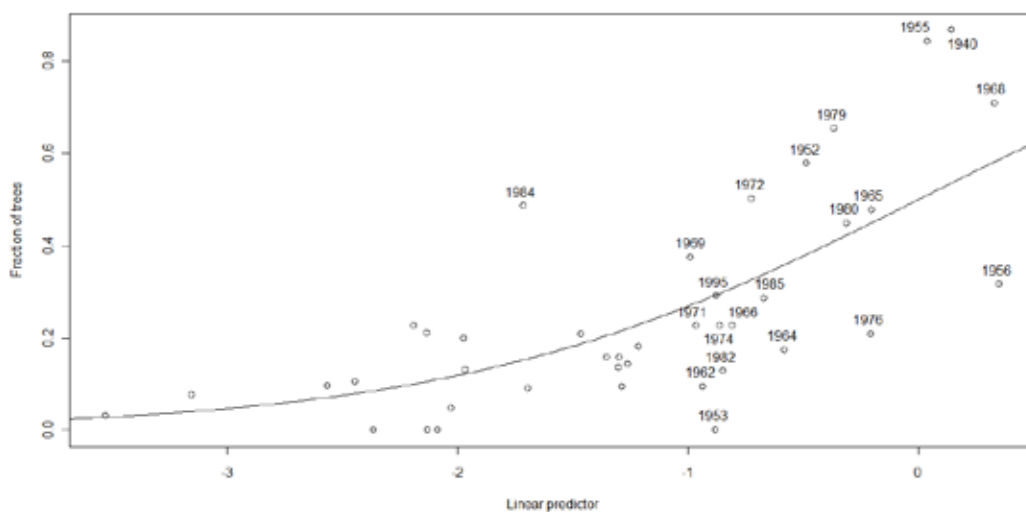


Рис. 2. Обобщённая линейная модель (GLM), связывающая долю деревьев в возрасте от 50 до 100 лет, у которых сформировалась узкая зона поздней древесины (УПД), с климатическими факторами (табл. 1). Линией показана логистическая кривая. Отмечены годы, метеорологические условия которых обсуждаются в тексте

чина линейного предиктора. Коэффициенты всех указанных в таблице факторов значимо отличаются от нуля ($p < 0,05$). На рис. 2 показана зависимость доли деревьев с УПД от значений линейного предиктора GLM и логистическая кривая, наилучшим способом описывающая эти данные. Отметим довольно большой разброс точек вокруг этой кривой,

отражённый в значении отклонения остатков модели (residual deviance), которое составляет 116,96 для 33 степеней свободы. Это значение не позволяет принять эту лучшую из всех рассмотренных моделей в качестве адекватной, однако, исходя из высокой статистической значимости коэффициентов климатических факторов (табл. 1), можно говорить о замет-

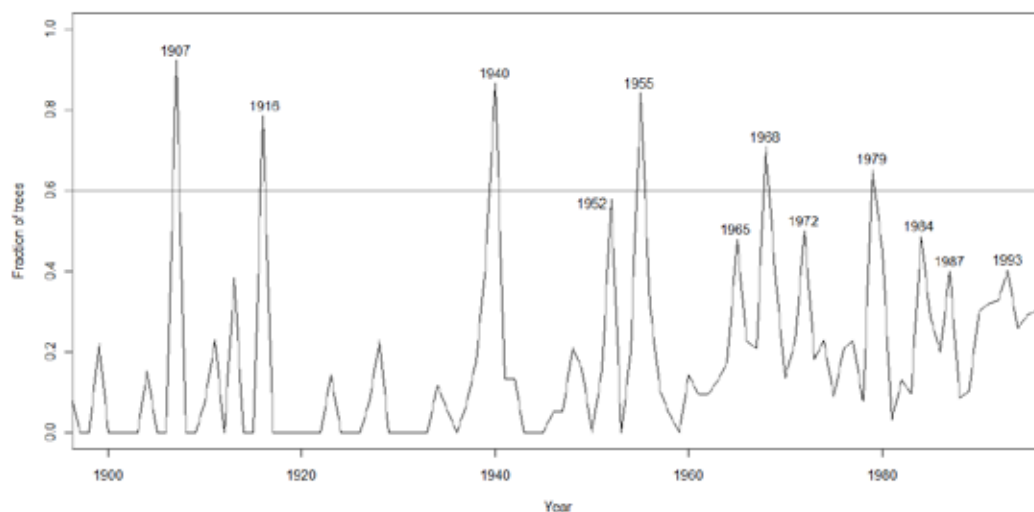


Рис. 3. Доля деревьев в возрасте от 50 до 100 лет, у которых сформировалась УПД

ном влиянии последних на долю деревьев, сформировавших УПД.

Поскольку среди изученных возрастных классов, включая случай анализа всех деревьев без деления на классы, наилучшая связь между долей деревьев с УПД и климатическими факторами была обнаружена для деревьев в возрасте от 50 до 100 лет, дальнейшее обсуждение касается только этой группы. На рис. 3 для каждого года представлена доля деревьев этого возрастного класса, сформировавших УПД. Временной интервал ограничен периодом, для каждого года которого было проанализировано более 10 образцов древесины. Отмечены годы с наиболее высокой долей сформировавших УПД деревьев.

Обсуждение

Из рассмотрения GLM (рис. 2) ясно, что большим значениям линейного предиктора соответствует более высокая доля деревьев, сформировавших УПД. Однако в довольно большом числе случаев наблюдавшиеся значения сильно отличались от предсказанных моделью, при этом есть отклонения в сторону как переоценки, так и недооценки доли дере-

вьев с УПД. Несмотря на наличие большого числа таких отклонений результаты построения GLM можно использовать для выделения метеорологических факторов, определяющих высокую долю деревьев с УПД. Для этого рассмотрим сначала случаи, лежащие значительно выше модельной кривой. Это 1940, 1952, 1955, 1968, 1969, 1972 и 1979 гг. Их метеорологические условия охарактеризованы ниже. В этих характеристиках приведены значения тех климатических факторов, которые вошли в GLM или относятся к тому же времени года. При этом указаны только те факторы, значения которых в данном году выходят за пределы среднеквадратического отклонения (среднее значение $\pm \sigma$).

1940 г. Самая морозная зима XX в., абсолютная минимальная температура опускалась до минус 45,7 °С, минимальная среднесуточная температура до минус 38,8 °С. Низкая средняя минимальная температура конца мая – начала июня. Очень поздние весенние заморозки (13 июня).

1952 г. Ранние заморозки предшествующей осенью (11 сентября). Низкая абсолютная температура мая (9 мая опускалась до минус

4,2 °С). Низкая средняя минимальная температура конца мая – начала июня. Последние заморозки наблюдались 24 мая.

1955 г. Рекордно высокий паводок в мае (среднемесячный расход воды составил 124 м³/с при среднем значении 44 м³/с). Низкая средняя минимальная температура конца мая – начала июня. Экстремально высокие значения расхода воды наблюдались и в июне.

1968 г. Морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 33,1 °С, минимальная среднесуточная температура до минус 29,1 °С. Низкая средняя минимальная температура конца мая – начала июня.

1969 г. Ранние осенние заморозки (10 сентября). Морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 34,0 °С. Поздние весенние заморозки, последние наблюдались 25 мая (минус 1,1 °С).

1972 г. Заморозки наблюдались 23 августа 1971 г. Зимой абсолютная минимальная температура опускалась до минус 32,0 °С. Очень низкая абсолютная температура мая (11 мая опускалась до минус 6,9 °С, а 12 мая было минус 5,2 °С).

1979 г. Очень морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 42,3 °С, минимальная среднесуточная температура до минус 39,3 °С. Очень высокий паводок в мае.

Очевидно, что во всех этих случаях высокие величины линейного предиктора обусловлены экстремальными значениями сразу нескольких климатических параметров. Во всех перечисленных случаях наблюдались не только отдельные аномальные погодные явления, но и их сочетание: морозной зимы и холодного мая (1940 и 1968 гг.), холодного мая и высокого весеннего паводка (1955 г.), морозной зимы и высокого весеннего паводка (1979

г.) или ранних осенних заморозков и холодного мая (1952 и 1972 гг.). В 1969 г. было сочетание ранних осенних заморозков, морозной зимы и холодного мая. Следует оговориться, что под кодовым названием «холодный май» здесь и далее понимается либо экстремально низкая средняя минимальная температура конца мая – начала июня, либо очень поздние весенние заморозки, либо сочетание этих показателей.

Исключение здесь составляет случай образования УПД в 1984 г. Метеорологические показатели предшествующей этому событию осени и зимы, как и весны того года, не отличались от среднемноголетней нормы. Это нашло своё отражение в низком значении линейного предиктора. Однако доля деревьев, сформировавших УПД, оказалась довольно большой – 0,49. Вероятно, это высокое значение объясняется другими, неучтёнными климатическими факторами. Возможно также, что на характер развития поздней древесины в этом случае повлияли причины, не связанные с климатом, например вспышка численности листогрызущих насекомых.

Рассмотрим теперь случаи, лежащие сильно ниже кривой GLM, т. е. годы, характеризующиеся высокими значениями линейного предиктора и низкой долей деревьев с УПД. Это 1953, 1956, 1962, 1964, 1976 и 1982 гг. Далее приведена метеорологическая характеристика этих лет.

1953 г. Низкая абсолютная температура мая (9 мая опускалась до минус 5,3 °С). Последний заморозок 26 мая.

1956 г. Очень морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 42,0 °С, минимальная среднесуточная температура минус 37,4 °С. Исключительно высокий паводок в мае – 110 м³/с.

1962 г. Заморозки наблюдались 6 сентября. Поздние весенние заморозки (7 июня).

1964 г. Поздние весенние заморозки (20 мая).

1976 г. Заморозки отмечены 9 сентября. Довольно морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 33,8 °С. Высокий паводок в мае.

1982 г. Заморозки зафиксированы 8, 9 и 11 июня.

Из приведённых данных видно, что и в этих случаях высокие значения линейного предиктора определялись аномальными погодными явлениями. Однако если в 1953, 1964 и 1982 гг. экстремальные значения были зафиксированы только в весенний период, то в остальных трёх случаях опять наблюдается сочетание погодных аномалий. Так, в 1956 г. после морозной зимы случился высокий весенний паводок. Эта ситуация практически идентична погодным условиям 1979 г., но доля деревьев, сформировавших УПД, в два раза меньше (0,32 против 0,65). Ещё более низкие значения доли деревьев с УПД характеризуют 1962 и 1976 гг. (0,10 и 0,21 соответственно), в которые ранние осенние заморозки сочетались с поздними весенними заморозками в первом случае и с морозной зимой и высоким паводком – во втором.

Помимо случаев, в которых доля деревьев с УПД оказалась значительно выше или ниже предсказанной GLM, есть несколько случаев высоких значений линейного предиктора, для которых доля деревьев с УПД предсказана довольно точно. Это 1965, 1966, 1971, 1974, 1980, 1985 и 1995 гг. Рассмотрим их метеорологические условия.

1965 г. Ранние заморозки предшествующей осенью (11 сентября). Очень низкая абсолютная температура мая (17 мая опускалась до минус 6,1 °С). Низкая средняя минимальная температура конца мая – начала июня.

1966 г. Довольно морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 32,7 °С.

1971 г. Поздние весенние заморозки, последние наблюдались 24 мая (минус 1,9 °С).

1974 г. Ранние заморозки предшествующей осенью (14 сентября). Поздние весенние заморозки, последние наблюдались 25 мая (минус 1,1 °С).

1980 г. Довольно морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 31,0 °С. Поздние весенние заморозки, последние наблюдались 24 мая, а 23 было зафиксировано падение до минус 2,2 °С.

1985 г. Заморозки были зафиксированы 27 августа 1984 г. Морозная зима, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 37,2 °С. Поздние весенние заморозки, последние наблюдались 22 мая (минус 2,3 °С).

Очевидно, что высокие значения линейного предиктора во всех этих случаях обусловлены аномальными погодными явлениями, а в некоторых случаях и их сочетанием. Однако доля деревьев с УПД во всех этих случаях низкая. Особенно четко это видно в 1985 г., который резко выделяется по своим метеорологическим условиям и при этом характеризуется значением доли деревьев с УПД, составляющим всего 0,29. Здесь же следует отметить, что в 1995 г. никаких погодных аномалий зафиксировано не было.

За этим единственным исключением все случаи, для которых характерны высокие значения линейного предиктора GLM, обусловлены климатическими событиями, в которых значения отдельных метеорологических параметров выходили за пределы среднеквадратического отклонения (среднее значение $\pm \sigma$), или сочетанием таких событий. Отметим также, что высокой доле деревьев, сформировавших УПД, соответствуют высокие значения линейного предиктора. Следо-

вательно, УПД формируется у тем большего числа деревьев, чем значительнее выражены погодные аномалии. При этом высокая доля деревьев с УПД обусловлена сочетанием погодных экстремумов в разные сезоны года. А вот обратное утверждение неверно. Далекое не всякий год, в который наблюдались аномальные климатические события или даже их сочетание, характеризуется значительной долей деревьев с УПД. Связь между рассмотренными особенностями строения древесины и погодными экстремумами не представляется однозначной, и оценка числа лет с климатическими аномалиями, сделанная на основе встречаемости УПД, будет скорее всего занижена.

Кроме этого, отдельные случаи с высокой долей деревьев, сформировавших УПД, могут быть идентифицированы как годы, характеризующиеся погодными аномалиями, тогда как в действительности ничего экстремального в ходе их метеорологических показателей не было. О таком риске говорит пример 1984 г., для которого значительных отклонений климатических факторов от средних величин не зафиксировано. Можно, однако, заметить, что во всех случаях, в которых доля деревьев с УПД превышала 0,6 (1940, 1955, 1968 и 1979 гг.), наблюдалось сочетание значительных по своей величине погодных аномалий. Для того чтобы проверить это утверждение, обратимся к рис. 3.

На этом рисунке доля деревьев, сформировавших УПД, представлена для временного интервала, ограниченного периодом, для каждого года которого было проанализировано более 10 образцов древесины. К сожалению, одинаково подробные данные инструментальных наблюдений доступны не для всего этого периода времени, поэтому значительная его часть не была включена в GLM. Тем не менее, можно попытаться охарактеризо-

вать метеорологические условия 1907 и 1916 гг., т. е. случаи с особенно высокими долями деревьев с УПД.

Зиму 1906–1907 г. можно классифицировать как морозную, абсолютная минимальная температура опускалась до минус 34,0 °С, минимальная среднесуточная температура до минус 30,1 °С. Весной зафиксированы поздние заморозки, последний был 2 июня (минус 1,2 °С). Данных инструментальных наблюдений метеостанции в г. Великие Луки для 1916 г. нет, однако по данным других метеостанций (Санкт-Петербург, Нижний Новгород) зима была морозной, а поздние весенние заморозки были 1 и 2 июня. Таким образом, в обоих случаях наблюдалось сочетание морозной зимы и очень поздних весенних заморозков, что ставит их в один ряд с 1940 и 1968 гг. В период с 1900 по 1996 гг. доля деревьев, сформировавших УПД, превышала 0,6 шесть раз. Во всех случаях это сопровождалось сочетанием погодных аномалий: морозной зимы и холодного мая (1907, 1916, 1940 и 1968 гг.), холодного мая и высокого весеннего паводка (1955 г.), морозной зимы и высокого весеннего паводка (1979 г.). Это, по нашему мнению, позволяет рассматривать долю деревьев с УПД, превышающую 0,6, как надёжный индикатор аномальных климатических событий зимнего и весеннего периодов. Меньшие величины доли деревьев, сформировавших УПД, также соответствуют годам, характеризующимся теми или иными погодными аномалиями. Нерешённым, однако, остаётся вопрос о причинах формирования УПД большим числом деревьев в 1984 г. Это лишает однозначности интерпретацию таких случаев.

В качестве одного из климатических факторов в GLM вошёл среднемесячный расход воды в августе предыдущего года. Ни в одном из случаев, в которых наблюдалась высокая

доля деревьев с УПД, значения этого фактора не достигали экстремальных значений. Вместе с тем, изъятие его из расчёта линейного предиктора значительно ухудшает результат. Влияние этого фактора на значение доли деревьев с УПД пока остаётся неясным.

Заключение

Подводя итоги, можно сделать ряд выводов, важных с точки зрения индикации аномальных погодных явлений по данным встречаемости случаев образования УПД у деревьев дуба черешчатого. Для выявления связи между климатическими факторами и долей деревьев, формирующих УПД в данном году, была построена обобщённая линейная модель (GLM). Результаты анализа GLM позволили выявить возрастную группу деревьев, наиболее адекватно откликающуюся на климатические условия. У деревьев в возрасте от 50 до 100 лет доля случаев, в которых образуется УПД, зависит от среднемесячного расхода воды в августе предыдущего года, абсолютного температурного минимума августа и сентября предыдущего года, минимальной среднесуточной температуры предшествующей зимы, среднемесячного расхода

воды в мае, средней минимальной температуры периода с 20 мая по 10 июня и абсолютного температурного минимума июня. Высокая доля деревьев, формирующих УПД в данном году, определяется экстремальными значениями этих факторов. Случаям, в которых доля деревьев, сформировавших УПД, превышает 0,6, соответствуют сочетания погодных аномалий: морозная зима и холодный май (1907, 1916, 1940 и 1968 гг.), холодный май и высокий весенний паводок (1955 г.), морозная зима и высокий весенний паводок (1979 г.). Таким образом, годы, для которых доля деревьев дуба черешчатого с УПД превышает 0,6, могут рассматриваться как характеризующиеся сочетанием по крайней мере двух погодных аномалий зимнего и весеннего сезонов. Меньшие величины доли деревьев, сформировавших УПД, также соответствуют годам, характеризующимся теми или иными метеорологическими экстремумами, но связь таких случаев с климатическими факторами не представляется однозначной. Следует также отметить, что оценка числа лет с климатическими аномалиями, сделанная на основе встречаемости УПД, будет скорее всего занижена.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 10-04-01569-а, программы Президиума РАН «Биоразнообразие: инвентаризация, функции, сохранение» и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция гео-биологических систем», подпрограмма 2, № 15-П.

Список литературы

- Битвинскас Т.Т. (1981) Дендроклиматохронология северо-западной части Европейской СССР. Каунас: Институт Ботаники АН Литовской СССР, 26 с.
- Болычевцев В.Г. (1961) Последствие морозов на рост дуба в Лесной опытной даче. Известия ТСХА 40 (3): 207–241.
- Болычевцев В.Г. (1970) Годичные слои дуба как показатель вековых циклов изменений климата. Лесоведение 1: 15–23.
- Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. (1988) Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 523 с.

Кучеров С.Е. (1990) Влияние непарного шелкопряда на радиальный прирост дуба черешчатого. Лесоведение 2: 20–29.

Маслов А.А. (2004) Природная динамика заповедных лесных сообществ в центре Русской равнины: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Москва. 43 с.

Соловьёв А.Н. (2005) Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология. М.: Пасья, 288 с.

Хантемиров Р.М., Горланова Л.А., Сурков А.Ю., Шиятов С.Г. (2011) Экстремальные климатические события на Ямале за последние 4100 лет по дендрохронологическим данным. Известия РАН. Серия географическая 2: 89–102.

Хасанов Б.Ф. (2002) Радиоуглеродные датировки ископаемой древесины дуба черешчатого из аллювиальных отложений долины р. Западная Двина (Тверская обл., Россия). Лесоведение 2: 63–67.

Astrade L., Begin Y. (1997) Tree-ring response of *Populus tremula* L. and *Quercus robur* L. to recent spring floods of the Saone river, France. Ecoscience 4(2): 232–239.

Brazdil R., Pfister C., Wanner H., von Storch H., Luterbacher J. (2005) Historical climatology in Europe – the state of the art. Climatic Change 70: 363–430.

Crawley M.J. (2007) The R Book. Chichester: John Wiley & Sons, 942 p.

Dujesiefken D., Liese W., Bauch J. (1984) Discoloration in the heartwood of oak-trees. IAWA Bulletin 5 (2): 128–132.

Glaser R., Stangl H. (2004) Climate and floods in Central Europe since AD 1000: data, methods, results and consequences. Surveys in Geophysics 25: 485–510.

Karpavicius J. (2001) Specific of tree growth in Lithuania and its dependence on various factors. Palaeobotanist 50: 95–99.

Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P. et al. (2002) Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. International Journal of Climatology 22 (12): 1441–1453.

Krapiec M. (1998) Oak dendrochronology of the Neoholocene in Poland. Folia Quaternaria 69: 5-133.

Nagasawa K. (2001) Long-term variations in abundance of Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Hokaido and Sakhalin related to changes in environmental conditions. Progress in Oceanography 49: 551–564.

Parmesan C., Root T.L., Willig M.R. (2000) Impact of extreme weather and climate on terrestrial biota. Bulletin of American Meteorological Society 81 (3): 443–450.

R Development Core Team (2010) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.

Spurk M., Leuschner H.H., Baillie M.G.L., Briffa K.R., Friedrich M. (2002) Depositional frequency of German subfossil oaks: climatically and non-climatically induced fluctuations in the Holocene. Holocene 12 (6): 707–715.

Stambaugh M.C., Guyette R.P. (2009) Progress in constructing a long oak chronology from the Central United States. Tree-ring Research 65 (2): 147–156.

St. George S., Nielsen E. (2000) Signatures of high-magnitude 19th-century floods in *Quercus macrocarpa* tree rings along the Red River, Manitoba, Canada. Geology 28 (10): 899–902.

Stokes M.A., Smiley T.L. (1996) An introduction to tree-ring dating. Tucson: The University of Arizona Press, 73 p.

Tapper M., Fletcher J., Walker F.S. (1978) Abnormal small earlywood vessels in oak as chronological indicators: their relation to arrested heartwood formation (included sapwood) after cold winters. Dendrochronology in Europe. British Archaeological Reports International Series. 51: 339–342.

Xoplaki E., Luterbacher J., Paeth H., Dietrich D., Steiner N., Grosjean M., Wanner H. (2005) European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium. Geophysical Research Letters 32 (15): L15713.

Indication of Extreme Weather Events on the Wood Anatomy of Oak Trees (*Quercus Robur* L.) From the Central European Russia

Bulat F. Khassanov

*A.N. Severtsov's Institute of Ecology and Evolution RAS,
33, Leninsky prospekt, Moscow, 119071 Russia*

Cases of the development of narrow latewood were studied in the tree rings of oaks from the flood plain forests (south part of Tver region). Data were divided into four grades according to the tree age in the year of narrow latewood formation: less than 50, from 50 to 100, from 100 to 150 and more than 150 years. Analysis of fraction of trees with narrow latewood was conducted separately for all trees as well as for different age classes. Climatic factors, which affect the fraction of trees with narrow latewood were specified with Generalized Linear Model (GLM). The best model fit connected the fraction of trees with narrow latewood (age class from 50 to 100 years) to hydrological conditions of previous summer and temperature of previous autumn, winter and spring as well as a magnitude of spring flood. High fraction of trees with narrow latewood (more than 0.6) indicates years with combinations of extreme weather events in winter and spring.

*Keywords: wood anatomy, dendrochronology, climate, extreme weather events, *Quercus robur* L., Central European Russia.*
