

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук

Бабушкиной Елены Анатольевны

на тему: «Факторы динамики радиального прироста и структуры годичных колец древесных растений в семиаридных экосистемах Юга Сибири»

по специальности 03.02.08 – «Экология (биологические науки)»

Актуальность темы. К потеплению климата наиболее чувствительна растительность, произрастающая в условиях недостаточного увлажнения. Такие семиаридные экосистемы могут стать зоной риска вследствие увеличения частоты и интенсивности засух. Дендрохронологические методы позволяют рассмотреть реакции древесных растений на изменения климатических факторов в масштабах от нескольких столетий и десятилетий до отдельных месяцев сезона роста. Это связано с расширением спектра измеряемых параметров древесины и методов математической статистики в дендроклиматическом анализе. На юге Сибири располагаются несколько семиаридных регионов (Алтайские ленточные боры, Хакасско-Минусинская котловина, Бурятская степь), интересных разнообразием природных зон и расположением в центре континента, что обеспечивает более высокую скорость потепления климата. Однако, систематические дендрохронологические исследования и анализ возможностей их применения на Юге Сибири до сих пор почти не проводились. Поэтому тема представленной диссертационной работы несомненно актуальна.

Диссертационная работа Е.А. Бабушкиной состоит из введения, 7 разделов, заключения и выводов, изложена на 358 страницах и иллюстрирована 54 таблицами и 88 рисунками. Список литературы содержит 663 источника, в том числе 477 на иностранных языках.

В разделе 1 представлен очень подробный, современный обзор дендрэкологических исследований в засушливых районах в России и за рубежом, дифференцированный в соответствии с направлениями исследования, приведенными в последующих разделах. Приведены работы по анализу климатического отклика в радиальном приросте деревьев, иллюстрирующие его комплексную природу и зависимость от локальных условий, характеристик индивидуальных деревьев и других факторов. Обсуждены возможности использования древесно-кольцевых хронологий для реконструкции динамики регионального гидроклиматического режима и продуктивности других видов растений, в том числе культурных. Детально рассмотрены перспективы использования количественной анатомии древесины для анализа функции водопроведения ксилемы и косвенной оценки

фенологии ксилогенеза при недостатке увлажнения. Исходя из приведенного обзора, сделаны выводы о перспективности проведения мультидисциплинарного анатомо-дендроклиматического анализа в выбранном регионе, сформулированы цель и задачи этого исследования.

В разделе 2 приведены данные о природно-климатических условиях Хакасско-Минусинской котловины и сопредельных горных систем, описана построенная обширная региональная дендроэкологическая сеть (включающая большое количество древесно-кольцевых хронологий, данные метеостанций и гидропостов, документальные и исторические свидетельства об экстремальных явлениях, статистические данные по урожайности), охарактеризованы объекты и методы исследования. Кроме методов классической дендрохронологии и быстро развивающейся в последние десятилетия количественной анатомии древесины, использованы данные о генотипе индивидуальных деревьев для выявления его влияния на радиальный прирост.

В разделе 3 рассмотрены пространственно-временные закономерности климатического отклика радиального прироста. Проведено сравнение трех подходов к дендроклиматическому анализу для *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica* в лесостепной зоне, показаны видовые особенности и пространственные градиенты в реакции на температуру и осадки. Вклад локальных условий произрастания в радиальный прирост этих же видов, трансформирующий их климатический отклик, проанализирован путем сравнения контрастных по почвенному увлажнению смежных участков. В горных условиях на примере *Picea obovata* выявлен высотный градиент в климатическом отклике и влияние на него микроусловий, получены хронологии, чувствительные к зимним температурам и осадкам. Последнее актуально, т.к. в континентальной Азии именно температуры холодного периода поднимаются в разы быстрее глобального тренда.

Раздел 4 посвящен выявлению вклада таких характеристик индивидуальных деревьев, как энергия роста и генотип, на закономерности их прироста. На массовом материале (около 200 деревьев *Pinus sylvestris*) проведена классификация индивидуальных деревьев на группы (кластеры) от наиболее быстрорастущих до наиболее медленнорастущих. Выявлены различия между кластерами в климатическом отклике, показана оптимальность использования деревьев с умеренной энергией роста в дендроклиматическом анализе и реконструкции. На выборке 100 деревьев *Larix sibirica* из двух популяций впервые на стыке дендрохронологии и популяционной геномики проведен поиск зависимости характеристик их прироста от гетерозиготности (доли гетерозиготных локусов из 8

рассмотренных) как фактора, который может стимулировать стабильность и скорость роста деревьев. По результатам использования нескольких подходов выявлено различие в чувствительности к климату и автокорреляции прироста, указывающие на более быстрое восстановление прироста более гетерозиготных деревьев после климатического стресса.

В разделе 5 проведено построение регрессионных моделей реконструкции гидрологического режима и региональных осадков на основе хронологий радиального прироста *Larix sibirica* и *Pinus sylvestris*. Разработаны модели погодичных колебаний уровня воды в крупном бессточном озере Шира длительностью 295 лет, годового количества осадков в Хакасско-Минусинской котловине длительностью 164 и 232 года, выявлены и верифицированы по историческим свидетельствам годы сильных засух и длительных засушливых периодов.

В разделе 6 рассмотрена урожайность (продуктивность) зерновых культур на территории Республики Хакасия. Детально проанализирована климатически-обусловленная составляющая рядов динамики урожайности, на основе которой получена классификация территории на зоны с однородным климатическим влиянием, учитывающая агроклиматическое районирование и гидрографические условия. Получены модели зависимости урожайности от температуры и гидротермического коэффициента, предсказывающие снижение урожайности на 2-11% при сохранении текущих климатических трендов. Поскольку взаимосвязи между рядами урожайности и древесно-кольцевыми хронологиями недостаточны для проведения реконструкции, был разработан оригинальный алгоритм отдельного моделирования высоко- и низкочастотной компонент урожайности на основе соответствующих компонент хронологий *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica*. В итоге были получены модели длительностью 122 и 238 лет (весь период развития сельского хозяйства в регионе), надежно реконструирующие неурожайные годы.

Раздел 7 посвящен анализу внутренних взаимосвязей и климатической реакции анатомических параметров структуры годичных колец хвойных. Использовано несколько подходов к количественному описанию структуры древесины: интегрированные данные для ранней, переходной и поздней древесины в годичных кольцах, статистическое распределение клеток по определенным гистометрическим параметрам, использование трахеидограмм. Выявлены закономерности изменения размеров клеток и толщины клеточных стенок под влиянием засухи и высоких температур. Доказываются новые возможности трахеидограмм, где каждая трахеида является источником информации об особенностях сезонного формирования годичного кольца и условий, в течение которых это формирование происходило. Это

приоритетное исследование, которое показывает новые перспективы использования анатомии годичных колец для восстановления условий сезона с высоким временным разрешением.

Обоснована **научная новизна** диссертационного исследования. Показаны перспективы систематических исследований на базе сети станций дендрозкологического мониторинга для исследуемой территории по реконструкции экологических условий роста древесных растений и влияния климатических факторов на рост деревьев на разных временных интервалах. Рассмотрены индивидуальные особенности динамики радиального прироста деревьев в сочетании с некоторыми их генетическими особенностями и иерархией по темпу роста в структуре древостоя. Оценены особенности нескольких методов, используемых в настоящее время в дендроклиматологии, для выявления климатического отклика древесных растений и реконструкции климатических факторов. Предложены математические модели для реконструкции динамики урожайности зерновых культур по длительным древесно-кольцевым хронологиям, учитывающие низко- и высокочастотные их составляющие. Обоснованы новые возможности использования анатомической структуры (трахеидограмм) годичных колец для выявления и оценки влияния условий на рост и формирование годичных колец в короткие интервалы сезона роста. Эти результаты также обосновывают перспективы более детального анализа и реконструкции условий сезона роста деревьев по анатомической структуре годичных колец.

Работа имеет высокую **теоретическую и практическую значимость**. Теоретическая значимость определяется мультидисциплинарным подходом, который позволил получить ряд новых результатов. Были выявлены преимущества и ограничения методов анализа климатического отклика и реконструкции климата по древесным хронологиям. Продемонстрирован потенциал таких характеристик анатомии годичных колец, как радиальный размер клеток и толщина клеточных стенок, для оценки влияния климатических, физиологических и экологических условий на сезонный рост деревьев. Наконец, четко показано, что параметры трахеидограмм годичных колец фиксируют условия в соответствующие интервалы сезона роста, в течение которых происходит дифференцировка клеток. Реконструкции длительных изменений гидрологического режима и динамики засух и урожайности зерновых полезны при прогнозировании будущих изменений влагообеспеченности региона и разработке мер по снижению рисков неурожайных лет. Другим важным практическим результатом является косвенный вклад в анализ роли древесных растений на исследуемой территории в углеродном цикле через аккумуляцию углерода в стволах.

Работа Бабушкиной написана понятным, лаконичным, грамотным русским языком, в ней практически нет ошибок и опечаток.

Работа была апробирована на многих международных и российских научных конференциях. Результаты исследования отражены в 40 научных работах, в том числе в 25 статьях в журналах Scopus, WoS, RSCI и изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности.

Ниже позволю себе высказать **несколько замечаний** технического и концептуального характера.

Технические

1. На многих картах отсутствует координатная сетка (например, с. 35, 90, 98, 246).
2. На некоторых графиках не подписаны оси (с. 45, 86, 88, 95, 127 и др.).
3. В ряде случаев не указана значимость коэффициента корреляции (например, с.86).
4. Судя по рис. 3.13, я бы сказала, что дивергенция началась в 2000 х гг., а не в 1980-х как указывает автор.
5. Рис. 3.15 – здесь высокая корреляция определяется сходными долгопериодными трендами и может быть артефактом.
6. В одну из регрессионных моделей входят температуры мая-июля и гидротермический коэффициент Селянинова тех же месяцев, что не совсем корректно, так как ГТК не является независимым от температуры параметром. С. 181.

Концептуальные

Работа Е.А. Бабушкиной сфокусирована на дендрохронологии и статистических методах, но зачастую, чтобы объяснить наблюдаемые статистические связи или группирование объектов, необходимо иметь дополнительную информацию, связанную с природными особенностями рассматриваемых объектов. Так, например, в тех случаях, когда рассматриваются сообщества на склонах, не указана экспозиция этих склонов. Это очень важно, так как микроклиматические условия на склонах разной экспозиции совершенно разные. В работе несколько раз используется кластерный анализ и используется вполне корректно. В результате анализа совокупность объектов распадается на несколько групп, а затем предлагается некое теоретическое объяснение обнаруженным различиям. Мне показалось, что в ряде случаев эти объяснения скорее – гипотезы, сформулированные пост-фактум, так как полевых данных об экологических условиях, по-видимому, нет. Для объяснения особенностей роста разных групп деревьев

предлагаются, например, произрастание на разных склонах (с. 102) или на разных типах почв (с. 108), но реально об условиях произрастания именно тех деревьев, которые попали в ту или иную группу, мы не знаем. По крайней мере, в работе эта часть документирована слабо, и влияние локальных условий как бы выводится из результатов статистического анализа. Показательно, что в диссертации нет ни одной фотографии ландшафтов и пробных площадей. В табл. 4.1. физико-географические, почвенные, фитоценотические условия описаны очень лаконично, нет описания условий произрастания деревьев на верхней и границах леса, не приводятся даже их высоты.

В интересной и убедительной главе про реконструкцию урожайности был бы уместен анализ возможного нарушения неоднородности рядов урожайности в связи с началом использования химических удобрений, изменением системы землепользования, связанной с социально-экономическими сдвигами последних десятилетий.

В работе приводятся интересные данные о цикличности засух, однако эти выводы были бы более обоснованными, если бы для анализа рядов были использованы Фурье или вейвлет анализы, а при указании цикличности – приведена статистическая ошибка. Интересно также, насколько устойчива эта цикличность во времени.

В заключении было бы уместно поместить таблицу, которая сводила бы воедино установленные автором закономерности влияния климатических параметров на разные дендрохронологические показатели разных пород в разных местообитаниях. Читатель оценил бы и сопоставление полученных региональных реконструкций с реконструкциями из сопредельных районов, а также с реконструкциями, основанными на других природных индикаторах. Так, например, осадки озера Шира имеют годичное стратифицирование и поэтому пригодны для высокоразрешающих реконструкций (Третьяков Г.А., Калугин И.А., Дарьин А.В., Рогозин Д.Ю., Дегерменджи А.Г. Физико-химические условия сезонного осаждения карбонатов в озере Шира (Хакасия) Доклады Академии наук. 2012. Т. 446. № 2. С. 197). Было бы очень интересно в будущем сравнить дендрохронологические данные, полученные в этой работе, с палеолимнологическими реконструкциями, которые охватывают более значительный интервал времени.

Безусловно, эти пожелания ни в коей мере не влияют на положительную оценку этой диссертации, а все замечания имеют частный характер. Работа, несомненно, соответствует требованиям к докторским диссертациям пп. 9–14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней». Автореферат и публикации автора полностью отражают содержание диссертации. Полагаю,

что диссертация Елены Анатольевны Бабушкиной является законченным научным исследованием, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08 – «Экология (биологические науки)»

Доктор географических наук,
чл.-корр. РАН



О.Н. Соломина

21.09.2020г.

Сведения об официальном оппоненте:

1. Соломина Ольга Николаевна
2. Доктор географических наук
3. Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института географии РАН
4. Служебный адрес: 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, 29, стр. 4.
Служебный телефон: +7(495)959-00-32
E-mail: solomina@igras.ru

Даю согласие на обработку персональных данных.



руки тов. Соломиной О.Н.

ав. канцелярией
государственное бюджетное
науки Институт географии
ской академии наук

