

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

УДК 551.8 (571.5)

## МЕТОДЫ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ГЕОГРАФИИ В АНАЛИЗЕ ДИНАМИКИ ГЕОСИСТЕМ

В.Б.ВЫРКИН, Л.А.ВЫРКИНА, Ю.В.ПОЛЮШКИН

Институт географии СО РАН, Иркутск, [vyrkin@irigs.irk.ru](mailto:vyrkin@irigs.irk.ru)

### АННОТАЦИЯ

Изменчивость состояний геосистем в эволюционной географии диагностируется методами аналогов, ведущего фактора и другими географическими исследованиями. Среди инструментальных наблюдений важное место занимают методы дендрохронологии. Более тонкие индикаторы причинно-следственных связей выявляются сочетанием ряда методов анализа.

Любое научное исследование природно-антропогенных систем (экосистем, геосистем, ландшафтов) включает несколько этапов и конкретных «шагов» на каждом из них. Так, выбор цели, формулировку задач, рекогносцировку исследовательского полигона в натуре для выполнения условий типичности, репрезентативности объекта, поиск инструментария и методик, адекватных цели, построение гипотетической схемы факторальных взаимодействий в системе – это первый общенаучного плана этап, который логично назвать методологическим.

Второй, собственно исследовательский этап, включает сбор информации о пространственной структуре объекта, в том числе линейные, объемные, массовые характеристики биоты и абиотических компонентов, а также результаты наблюдений за временной динамикой (поведением) элементов структуры, используя фондовые и опубликованные материалы, экспериментальные данные. В результате «шагов» этого этапа важно получить достаточно полное представление о диапазонах изменчивости характерных признаков среды и основных системообразующих элементов биоты с тем, чтобы по амплитудам оценить наиболее изменчивые факторы и чувствительные индикаторы для выбора самых информативных признаков динамики пространственно-временных структур. Одним из действенных инструментов поиска является сравнение общих амплитуд с диапазонами толерантности системообразующих биологических видов. Множество получаемых показателей может быть систематизировано по 4 группам факторальных составляющих изменчивости.

Третий этап – это нормирование. Временные многолетние ряды наблюдаемых признаков, массовые замеры, т.е. обобщенные данные мониторинга, позволяют получить представление о средних, типичных и потенциально возможных для данной временной стадии величинах выбранного индикационного признака или признаков. Сравнение реальных, наблюдаемых в настоящее время величин с теоретической или эмпирической «нормой», выявление наибольших отклонений от нее, анализ степени синхронизации экстремумов и периодичностей в развитии биоты и среды позволяют выдвинуть гипотезу о причинности взаимосвязей среды и вида-индикатора.

Четвертый, диагностический, этап включает выбор средств интерпретации показателя выявленных взаимосвязей, экспериментальную проверку гипотезы (модели), выбор метода доказательства (идентификации, реконструкции, прогноза, диагностики состояния). Результирующий вывод может быть рекомендательным, отрицающим или утверждающим, т.е. отвечающим на сформулированную в начале цель.

Изменчивость состояний геосистем от года к году и в циклах, по длительности не превышающих вековые, связана с непосредственными наблюдениями и сопоставлением характеристик биоты с показателями изменчивости неживых компонентов среды. Этот блок, пожалуй, включает максимальную информацию о поведении, фазовых состояниях, эндо- и экзогенных сменах, возрастных, структурных, функциональных сдвигах и тенденциях, позволяющих судить о причинах явлений, процессов, создавать модели поведения и управления, использовать ранее открытые законы в других пространственно-временных системах. Соответственно, методики и методология обогащаются за счет множества естественных наук (гидрология, климатология, астрофизика, дендрохронология) и постановки экспериментов в природе.

Тем не менее прямых инструментальных наблюдений за показателями изменчивости геосистем во времени очень мало, ряды короткие, сеть пунктов весьма редкая и неравномерная, что вынуждает привлекать косвенную индикационную информацию.

Использование данных спорово-пыльцевого анализа в сочетании с радиоуглеродными датировками дает возможность оценить основные тенденции изменения облика биосферы после трансгрессии ледников и переходов от озерных к лесоболотным и лесотундровым ландшафтам в голоцене.

Однако скорости протекания процессов сукцессий на разных широтах существенно различаются. Более того, в пределах каждой природной зоны наблюдаются принципиальные различия не только в интенсивности метаболизма, но и в наборе ведущих процессов. Именно в этом причина противоречивости выводов, полученных разными исследователями в разное время на материалах одного региона: исследуемые объекты-индикаторы (разрезы, пробные площадки, модельные деревья, скважины) не сопоставимы с индицируемыми объектами (биоценоз, массив, зона, физико-географическая область).

Важная задача анализа хроноструктур – выявление переломных моментов, качественных сдвигов, критических рубежей, пауз, модулей продолжительности процессов (характерного времени). Познание временных изменений процессов, поиск устойчивых закономерностей временного характера, упорядоченности событий во времени позволяет в дальнейшем переходить к прогнозированию хода процессов и учету его при хозяйственном освоении территорий. При прогнозировании развития процессов на первом этапе обязательно должно быть предусмотрено исследование внутренних механизмов функционирования, формирования хроноструктуры, саморазвития систем. Познание механизма реального протекания процесса позволит в дальнейшем стабилизировать или активизировать его в нужном направлении, т.е. управлять им.

Ведущее место среди используемых эволюционной географией методов выявления последовательности событий, временной динамики ландшафтов прошлого занимают методы общей дендроиндикации, дендрохронологии и, в частности, наиболее отработанный и распространенный из них - древесно-кольцевой анализ. Основное преимущество последнего – возможность точных датировок событий позднего голоцена, а также продления хронологий за счет ископаемой древесины. Продолжительность «жизни» деревьев, а также сохранность «летописей» намного выше чем у других представителей биоты, хотя на фоне геологического времени точно датированные хроники по длительности сравнительно невелики.

В нашем представлении дендрохронология не ограничивается вариантами методики анализа и интерпретации данных изменчивости радиального прироста деревьев. К ней логично отнести многие исследования, в качестве индикационной информации о прошлом использующие множество других признаков деревьев и древостоев (изменения формы ствола, кроны, корней; бонитет, его изменчивость во времени; семена, пыльца, остатки коры, древесины, угли; раны, следы пожаров, наводнений, лавин, селей на стволах и т.д.). Основное преимущество дендрохронологических методов – возможность точных датировок событий, а недостаток – незначительная продолжительность жизни большинства видов древесных растений относительно геологического времени.

Региональная и топическая специфика естественных смен состояний геосистем во второй половине XX века особенно осложнилась в связи с интенсивным освоением лесных ресурсов и нефтегазоносных месторождений. В этой ситуации судить о количественных критериях устойчивого развития территории невозможно без всестороннего познания поведения природных объектов во времени, т.е. без изучения хроноструктур.

В сочетании нескольких методов анализа событий и состояний в геосистемах прошлых эпох видится нелегкий, но единственно возможный путь поиска причинно-следственных связей прошлого, современного и будущего ландшафтов. Полученные материалы могут быть использованы в разработках прогнозов и мероприятий по охране природы.

УДК 57 (571.53)

## **КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ И ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮГА ЛЕНО-АНГАРСКОГО ПЛАТО**

А.В. БЕЛОВ<sup>1</sup>, Е.В. БЕЗРУКОВА<sup>2,3</sup>, Л.П. СОКОЛОВА<sup>1</sup>, А.А. АБЗАЕВА<sup>2,3</sup>, Н.В. КУЛАГИНА<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт географии СО РАН, Иркутск, [belov@isc.irk.ru](mailto:belov@isc.irk.ru)

<sup>2</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН, Иркутск

<sup>3</sup>Институт геохимии СО РАН, Иркутск

<sup>4</sup>Институт земной коры СО РАН, Иркутск

### **АННОТАЦИЯ**

Растительность является важным динамическим компонентом природных комплексов (геосистем) Лено-Ангарского плато (юг Средней Сибири). Основные динамические процессы в ней вызваны антропогенными факторами, которые развиваются на фоне вековых эволюционных смен.

Особенности современного этапа изучения растительности определяются представлениями о системной природе организации растительности как неотъемлемого важнейшего компонента ландшафтно-географической сферы, в значительной степени определяющего ее развитие и пространственно-географическую дифференциацию. Более детально роль растительности раскрыта В.Б.Сочавой (1978, 1979) при разработке им концепции учения о геосистемах, получившей широкое признание. Растительность, как в целом биоту, он определял не только как один из критических компонентов геосистемы, но и как важнейший фактор ее стабилизации, реализующийся с наибольшим эффектом при спонтанном развитии геосистем.

Такой геосистемный подход позволяет подходить к растительности не только с позиции рассмотрения ее как самостоятельно развивающейся системы, обладающей определенной структурой, внутренней и внешней энергетикой самоорганизации, саморегуляции и развития, но и как неотъемлемой части (компонент) природных систем – геосистем, независимо от их таксономического ранга и уровня географической размерности, от глобального до топологического. Последний, топологический, уровень организации растительности и геосистем в настоящее время привлекает особое внимание, т.к. на этом уровне решаются основные задачи выявления и сохранения биологического разнообразия.

Главной чертой растительности, как компонента природной среды, определяющей многие особенности ее изучения, является ее динамичность в широком смысле слова. Динамичность растительности, ее изменчивость под влиянием внутренних причин и внешних факторов, обеспечивает разнообразие форм ее ценотической организации и типов связей и взаимоотношений со средой обитания, включая сюда антропогенный фактор. Одновременно, через нее реализуется эволюционное развитие растительности, происходящее в тесной связи с вековыми изменениями в ландшафтной сфере.

Применительно к растительности геосистем В.Б. Сочава (1978, 1979) подчеркивал необходимость разделять ее динамику и эволюцию. Под эволюцией растительности

понимается необратимый (направленный) процесс исторического развития растительных сообществ, их филогенез, обусловленный общими факторами развития географической сферы. К собственно динамике растительности относятся многочисленные текущие изменения в составе и структуре сообществ в соотношении с адекватными им изменениями экологических факторов, в т. ч., антропогенных.

Изучение эволюции растительности как проявления макродинамики позволяет выяснить основные географо-генетические особенности в ее структурной (видовой и ценотической) организации. Учет этих вековых проявлений динамики и отражение их в классификационных схемах важен и необходим, так как при этом обеспечивается генетическая целостность выделяемых крупных таксономических подразделений растительности. В этом случае выделенные низшие таксоны растительности могут рассматриваться в определенной степени как этапы их развития.

Наиболее эффективными методами изучения роли эволюционно-динамических процессов биоты в структурной организации геосистем являются сравнительно-географический, картографический и палеогеографический. Все они, информационно дополняя друг друга, обеспечивают выявление не только самих динамических проявлений в растительности и в геосистемах, но и их пространственные особенности, а также географические факторы, обуславливающие их возникновение и развитие.

Картографические исследования растительности были проведены нами на ключевых участках в разных районах Ангара-Ленского плато, с охватом горнотаежных (лесных, ерниковых,) и подтаежно-котловинных (лесо-степных) природных комплексов. Как известно, Лено-Ангарское плато является в ландшафтном плане морфоструктурно обособленной частью Средне-Сибирского плоскогорья, растительность которого обладает региональной спецификой, позволяющей относить эту территорию к самостоятельной биогеографической провинции. На схеме геоботанического районирования эта территория относится к Лено-Ангарской горнотаежной провинции Среднесибирской таежной области (Белов, Лямкин, Соколова, 2002).

Работы были сосредоточены преимущественно в юго-западной части Ангара-Ленском плато, на водоразделе бассейнов рек Ангары и Лены, в верховьях рек Илги (левый приток р. Лены) и Куды (правый приток р. Ангары). Эта территория характеризуется высокой степенью разнообразия геосистем и растительности, достаточно высокой степенью сохранности коренной растительности, развитием здесь относительно молодых антропогенных динамических проявлений и наличием торфяных образований, являющихся источниками информации для эволюционной палеогеографической реконструкции растительности и геосистем. Кроме того, эти районы Ангара-Ленского плато являются перспективными в плане промышленного освоения Ковыктинского ГКМ.

Обследование растительности проводилось маршрутным методом с использованием аэрокосмических и лесотаксационных материалов, с описанием выбранных наиболее типичных растительных сообществ по профилям, с учетом характера экотопов. Особое внимание было уделено сбору палеогеографической информации, позволяющей провести ретроспективный анализ эволюционных изменений в растительности и природной среде и составить представление о фоновых изменениях в биоте и геосистемах. Для этого были выявлены и опробованы озерно-болотные глинисто-торфяные отложения. Всего было опробовано четыре торфяника разной мощности, от 1м до 3м. Они расположены в верховьях р. Илги (урочище «Долина озер» и урочище «Хындыркул»).

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что растительность юго-западной (Илгинской) зоны Ангара-Ленского плато на протяжении голоцена претерпела сложные эволюционные изменения, обусловленные общими изменениями климатической обстановки в Сибири. Это хорошо просматривается на спорово-пыльцевой диаграмме (Рис. 1), где выделены несколько палинозон, характеризующих этапы изменения растительности в голоцене.

Хорошо видно, то на протяжении суббореального и большей части субатлантического периодов голоцена в регионе господствовали полидоминантные темнохвойные сообщества из ели и кедра, со значительным с участием пихты. В современный период (примерно последние 1000-800 лет) резко сократились площади, занимаемые темнохвойными (кедрово-еловыми и елово-кедровыми) лесами. Преобладание перешло к сосново-лиственничным и лиственнично-березовым производным группировкам. Эти изменения, очевидно, в большей степени связаны с вековыми климатическими изменениями в регионе, но они несомненно усилены мощной антропогенной деструкцией растительности.

Ерники, образованные кустарниковой березкой и ивой, как структурный ценоэлемент присутствовал в растительности практически на протяжении всего голоцена, но занимал очень ограниченные площади, связанные с избыточным увлажнением территории или наличием здесь мерзлоты. Резкая активизация ерников отмечается с начала современного антропогенного периода. Это свидетельствует об активизации мерзлотных процессов здесь и увеличении почвенного увлажнения, за счет ослабления дренажа территории.

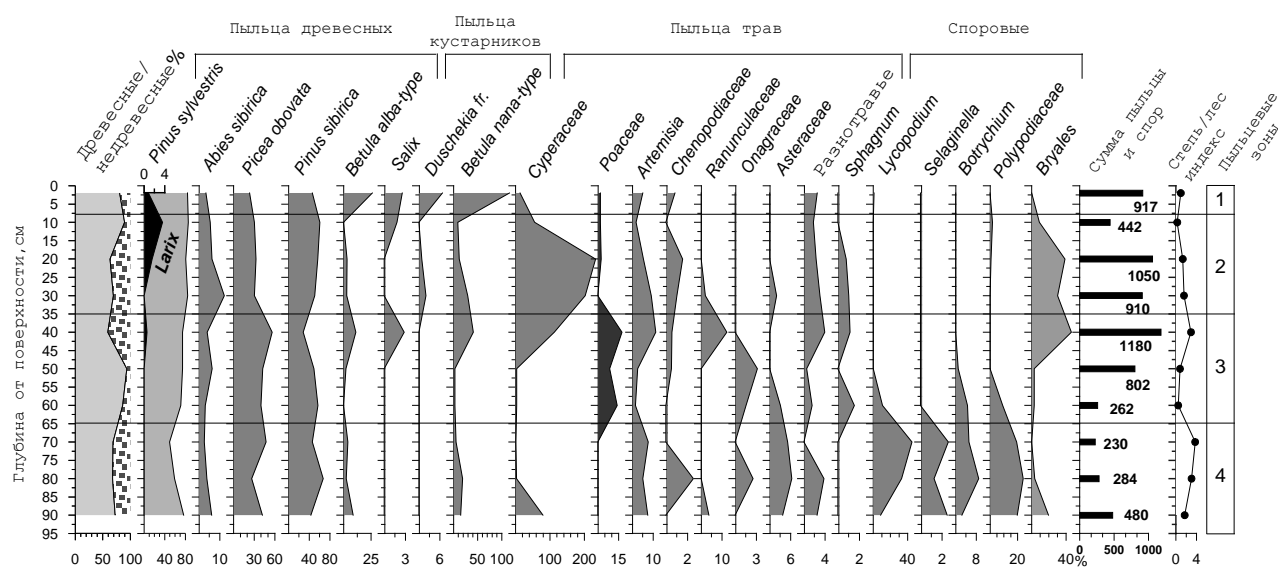


Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза торфяно-болотных отложений урочища «Долина озер» (басс. р. Илги)

Выявленные эволюционно-антропогенные изменения в растительности подтверждаются современной ценотической структурой растительного покрова. Проведенный структурно-ценотический анализ современного состава растительных сообществ показал абсолютное преобладание в этом регионе вторичных производных группировок с доминированием в древостоях лиственницы, сосны, березы и обильным возобновлением кедра, ели, реже пихты. Это нашло отражение и в поверхностных спорово-пыльцевых комплексах.

Полученные сведения об эволюционных процессах в растительности были учтены нами при картографировании растительности этого региона, при определении динамического статуса растительных сообществ современного растительного покрова региона. Как известно, для картографического учета всего флоро-ценотического многообразия растительных сообществ на динамической основе наиболее эффективен структурно-динамический принцип типологии и классификации растительных сообществ. Суть его заключается в оценке структурно-ценотических черт растительных сообществ с динамических позиций и выявлении эквипотенциальных фитоценозов. Такой анализ позволяет увязать все разнообразие растительных сообществ в сложные динамические системы – эпитаксоны (по определению В.Б.Сочавы).

На этих принципах классификации растительных сообществ была создана легенда крупномасштабной карты растительности ключевого участка Ангаро-Ленского плато.

Типизация и классификация растительных сообществ на структурно-динамической основе проводилась с учетом выделенных экотопов, для которых характерны свои условно-коренные сообщества.

*Исследования поддержаны грантам РФФИ - № 03-05-64072 и 04-05-64078*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1978 – 319 с.  
Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1979. -190 с.  
Белов А.В., Лямкин В.Ф., Соколова Л.П. Картографическое изучение биоты. – Иркутск: Облмашинформ, 2002. – 160 с.

УДК 630\*160: 630\*181

### **ВОЗМОЖНОСТИ ИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ РАСТЕНИЙ - ЭДИФИКАТОРОВ**

Н.Е. СУДАЧКОВА

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск, [biochem@krasn.ksc.ru](mailto:biochem@krasn.ksc.ru)

#### **АННОТАЦИЯ**

Рассматривается возможность ранней диагностики стрессового состояния лесных экосистем путем проведения мониторинга состояния деревьев - эдификаторов по биохимическим показателям. В качестве индикаторов стрессового состояния лесообразующих видов хвойных предлагается использовать содержание белкового азота, свободных аминокислот и низкомолекулярных углеводов.

Гомеостаз биосферы в значительной мере зависит от присутствия древесной растительности на Земле. Деревья, составляющие верхний ярус лесных фитоценозов, занимающих подавляющую часть покрытых растительностью пространств на территории Средней Сибири, выполняют эдификаторную роль, обеспечивая существование растений нижних ярусов. Эдификаторы принимают на себя основной удар негативных абиотических факторов, что сказывается прежде всего на уровне их продуктивности.

Продуктивность насаждений в лесах России изменяется в широких пределах, достигая максимума лишь в наиболее благоприятных климатических условиях. В Сибири, например, где сосредоточена половина всех запасов древесины страны, преобладают древостои III-V классов бонитета (Абаимов и др.), т.е. резервы продуктивности, детерминированные генотипом основных лесообразующих пород, на большей части лесной территории не реализуются из-за лимитирующего действия природных факторов.

К числу природных факторов, негативно влияющих на древесные растения в лесной зоне Сибири, в первую очередь относятся корневая гипотермия, связанная с присутствием длительно сезонной или вечной мерзлоты, часто встречающееся сочетание действия гипотермии и водного дефицита или гипотермии и гипоксии в корневой сфере на заболоченных участках и водный дефицит на южной границе леса. Помимо природных факторов в последние десятилетия все более актуальным становится отрицательное влияние антропогенных и техногенных воздействий.

Негативные природные и антропогенные воздействия вызывают одни и те же очевидные морфогенетические изменения: снижение интенсивности ростовых процессов, уменьшение фотосинтезирующей поверхности и как следствие снижение прироста в высоту и по диаметру, что может быть охарактеризовано как стрессовое состояние. Изучение стрессовых реакций древесных растений - эдификаторов необходимо для определения

пределов давления на лесные экосистемы, за которыми возможна их необратимая деградация.

Лучшим показателем состояния лесной экосистемы является интенсивность роста растений эдификаторов, что давно оценивается лесоводами через классы бонитета. В условиях меняющейся среды желательно иметь показатели состояния, позволяющие проводить раннюю диагностику негативных воздействий на экосистему. Этой цели может служить выявление стрессовых метаболитов, специфичных для различных типов стресса.

Одним из важнейших факторов, лимитирующих продуктивность древесных растений в Сибири, является недостаток доступных форм азота в почве вследствие действия различных абиогенных стрессоров. В результате в стрессовых условиях нарушается метаболизм азота. Растительные клетки реагируют на различные стрессоры значительным и быстрым снижением скорости синтеза белка и (или) усилением распада белка, что обнаруживается по снижению содержания белкового азота. Ниже приводятся данные по содержанию белкового азота в тканях лиственницы сибирской под влиянием водного и фитоценотического стресса и для лиственницы Гмелина под действием холодового и гипоксического стрессов в естественных условиях произрастания (Рис.1). В качестве контроля использовали деревья из насаждений того же возраста в условиях, исключающих действие указанного стрессора. Очевидно, что наибольшие снижение содержания белка отмечено под действием

фитоценотического и холодового стрессов.

Стрессовое состояние древесных растений часто сопровождающимся изменением в спектре и количестве свободных аминокислот. Общеизвестным считается увеличение содержания пролина в тканях под влиянием водного и солевого стрессов (Шевякова, 1983). Срав-

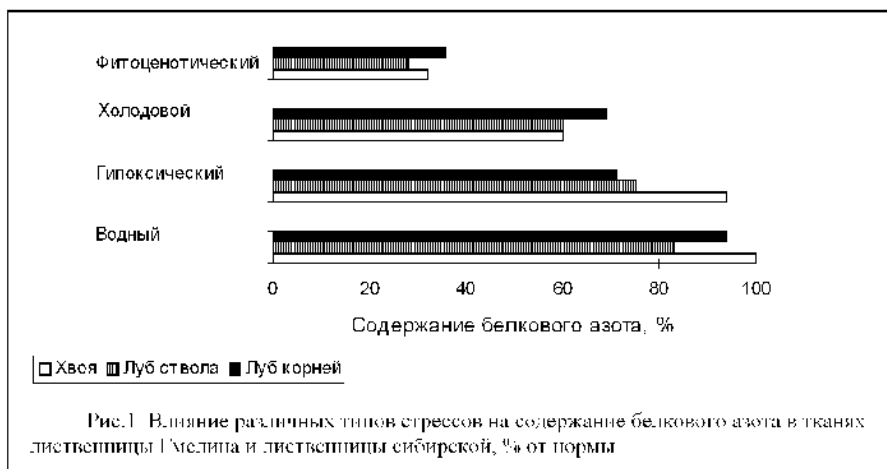


Рис.1 Влияние различных типов стрессов на содержание белкового азота в тканях лиственницы Гмелина и лиственницы сибирской, % от нормы

нение содержания пролина в хвое, тканях луба ствола и корней молодых деревьев сосны обыкновенной в условиях естественной засухи (когда влажность верхнего слоя почвы была близка к влажности завядания) и в опыте, имитирующем влияние длительно-сезонной

мерзлоты (температура почвы 0-20С), показало, что накопление пролина при холодовом стрессе происходит в несколько раз интенсивнее, чем при засухе (Рис.2). По-видимому, накопление пролина в тканях изученных видов следует рассматривать как неспецифический индикатор стрессового состояния.

Глутаминовая и  $\gamma$ -аминомасляная (ГАМК) кислоты преобладают в составе свободных аминокислот трех видов сибирских хвойных сосны обыкновенной, лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина, в некоторых тканях, например, в камбии, содержание этих двух кислот достигает 50-70% от

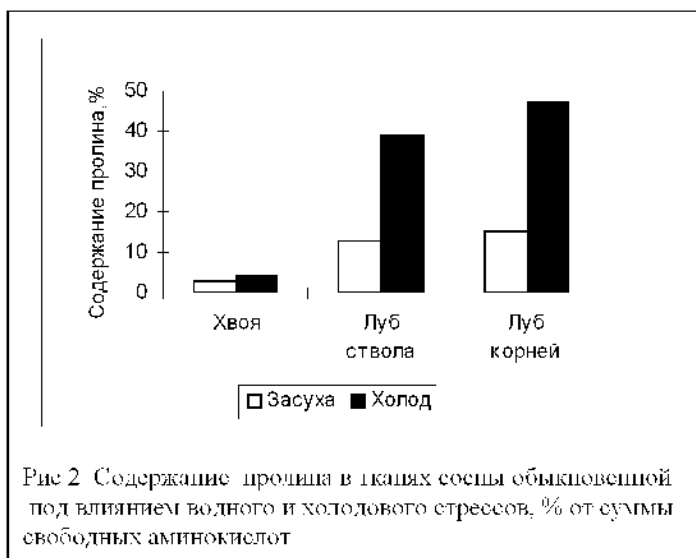


Рис.2 Содержание пролина в тканях сосны обыкновенной под влиянием водного и холодового стрессов, % от суммы свободных аминокислот

суммы свободных аминокислот. Как было показано нами ранее (Sudachkova et al., 2002), под влиянием водного стресса изменяется соотношение двух пулов аминокислот, связанных своим происхождением с глутаминовой кислотой: с одной стороны - сумма аргинина, орнитина и цитруллина, а с другой - сумма глутаминовой кислоты, глутамина, пролина и ГАМК. Под влиянием искусственно вызванной умеренной засухи в тканях надземной части сосны содержание ГАМК возросло в 1,5-3 раза. При усилении водного дефицита резко увеличивается содержание аргинина. Таким образом, накопление ГАМК свидетельствует об умеренном водном дефиците, который может проявляться как при обычной засухе, так и на холодных почвах (физиологическая засуха). При более жестком водном дефиците этот механизм сменяется другим: в качестве акцептора освобождающихся при распаде белка аминокислот выступает аргинин и его метаболические предшественники орнитин и цитруллин.

Техногенный стресс также изменяет соотношение свободных аминокислот, например, в хвое сосны из посадок в наиболее загрязненных районах города Красноярска отмечается резкое снижение содержания ГАМК и глутаминовой кислоты и увеличение доли серосодержащих аминокислот. Низкая температура в ризосфере также способствует снижению содержания белкового азота в тканях и увеличению концентрации свободных аминокислот.

Одновременно со снижением содержания белка при водном стрессе обнаружено накопление углеводов за счет увеличения концентрации низкомолекулярных углеводов особенно в тканях корней и камбиальной зоне сосны, находящейся в условиях сильной засухи. На примере сосны и лиственницы показано, что увеличение отношения низкомолекулярные углеводы: белковый азот - достаточно четкий индикатор водного стресса.

Таким образом, в качестве индикаторов стрессового состояния наряду с концентрацией индивидуальных соединений следует использовать относительные показатели такие как соотношения отдельных групп аминокислот или метаболитов углеводной природы и азотсодержащих соединений.

Оценка стрессового состояния лесной экосистемы в принципе возможна путем проведения мониторинга биохимического статуса деревьев - эдикаторов. Для проведения биохимического мониторинга необходимо учитывать тканеспецифичность состава свободных аминокислот у изученных видов хвойных (Судачкова и др., 2003). Так установлено, что для лиственницы и сосны тест-объектами для индикации состояния по биохимическим показателям являются побеги текущего года.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (Грант 04-04-49418)*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- Абаимов А.П., Бондарев А.И., Зырянова О.А., Шитова С.А. Леса Красноярского Заполярья. - Новосибирск: Наука, 1997. - 208 с.
- Шевякова Н.И. Метаболизм и физиологическая роль пролина в растениях при водном и солевом стрессе. // Физиология растений, 1983. - Т.30. - С. 768-783
- Sudachkova N.E., Milyutina I.L., Semenova G.P. Influence of water deficit on contents of carbohydrates and nitrogenous compounds in *Pinus sylvestris* L. and *Larix sibirica* Ledeb. tissues // Eurasian. J.For. Res.- 2002, No 4.- P 1-11.
- Судачкова Н.Е., Милюткина И.Л., Семенова Г.П. Состав свободных аминокислот различных органов и тканей *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* // Растительные ресурсы.-2003, т.39. - С.19-31



## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ НАЛЕДЕЙ "УЛАХАН ТАРЫН" И "БУЛУУС" МЕТОДАМИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

В.С.ЕФРЕМОВ<sup>1</sup>, А.Н.НИКОЛАЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова, Якутск

<sup>2</sup> Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск

### АННОТАЦИЯ

Авторами проведены исследования на территории наледей Улахан-Тарын и Булуус в Центральной Якутии. Проведен сравнительный анализ древесно-кольцевых хронологий разных склонов и надпойменной террасы. В ходе исследований выяснили, что на радиальный прирост деревьев, растущих на склоновых участках, влияет сильный внешний фактор.

«Булуус» и «Улахан Тарын» представляют собой уникальное явление природы в виде наледи, образовавшейся из вытекающих из-под мерзлых песчаных грунтов подземных вод на надпойменных террасах правого берега р. Лена. В холодное время года на обоих участках формируется обширная наледь, фрагменты которой можно наблюдать вплоть до середины июля. Изучение влияния этого явления на радиальный прирост деревьев произрастающих непосредственно рядом с наледями представляет большой интерес. В разные годы в связи с различными условиями внешней среды размеры наледи меняются, что в свою очередь сказывается в росте деревьев, особенно у кромки наледи.

Научные исследования наледей на территории Центральной Якутии проводились в середине и начале второй половины XX в (Ефимов, 1952; Арэ, 1969; Гаврилова, 1969; Пигузова, Шепелев, 1972; Толстихин, 1974 и др.). В последние годы проводились исследования ботанического аспекта (Кривошапкин, 2001; Рыкова, Чечурова, 2001). В 1999 году Николаевым А.Н. и Тимофеевым П.А. сделаны дендроклиматологические исследования наледи «Булуус» (Николаев, Тимофеев, 2001).

В ландшафтном отношении исследуемая территория относится к песчано-грядовому типу местности средневысотных террас и согласно лесорастительному районированию Якутии входит в среднетаежную подзону Центральной Якутской провинции сосново-лиственничной тайги. Здесь в условиях экстроконтинентального климата на песчаных и супесчаных мерзлотно-таежных почвах произрастают сосняки лишайникового, толокнянково-лишайникового и разнотравно-лишайникового типов.

В 2002 г на территории наледи Улахан-Тарын и в 2004 г на территории наледи Булуус были проведены работы по сбору дендрохронологического материала. Для каждой наледи были заложены локальные трансекты различных склонов. Используя общепринятые в дендрохронологии методики сбора (Methods, 1990; Ваганов и др., 1996; Шиятов и др., 2000), были отобраны образцы керны деревьев. Датировка собранного материала и построение древесно-кольцевых хронологий сделана в лаборатории криогенных ландшафтов Института мерзлотоведения СО РАН. Ширина колец измерялась при помощи полуавтоматической установки ИДК-2, разработанной лабораторией дендрохронологии Института леса СО РАН (г. Красноярск). Посредством кросс-корреляционного анализа (Holmes, 1998) и графической перекрестной датировки (Rinn, 1996) были построены древесно-кольцевые хронологии для всех участков наледей Улахан Тарын и Булуус (рис. 1 и рис. 2).

Статистический анализ древесных хронологий показал, что наиболее высокой чувствительностью (0,25-0,28) обладают деревья участка BUL1 наледи Булуус. Для этой наледи на участке BUL5 наблюдается и наименьшая чувствительность (0,15-0,18). Чувствительность хронологий наледи Улахан Тарын – 0,21-0,23.

Результаты расчета межсерияльных коэффициентов корреляции позволили оценить согласованность в приросте модельных деревьев внутри участков обоих наледей.

Межсерийный коэффициент корреляции, отражающий сходность реакции радиального прироста на изменение климатического фактора, у хронологий наледи Булуус высок у всех древесно-кольцевых хронологий: от 0,65 до 0,80 в STD-хронологии и от 0,66 до 0,78 в RES-хронологии. Для участков наледи Улахан Тарын лучшую согласованность приростов показали деревостой склонов - 0,68 (восточная экспозиция) и 0,76 (южная экспозиция). Для поверхности террасы значения межсерийного коэффициента корреляции составило - 0,58.

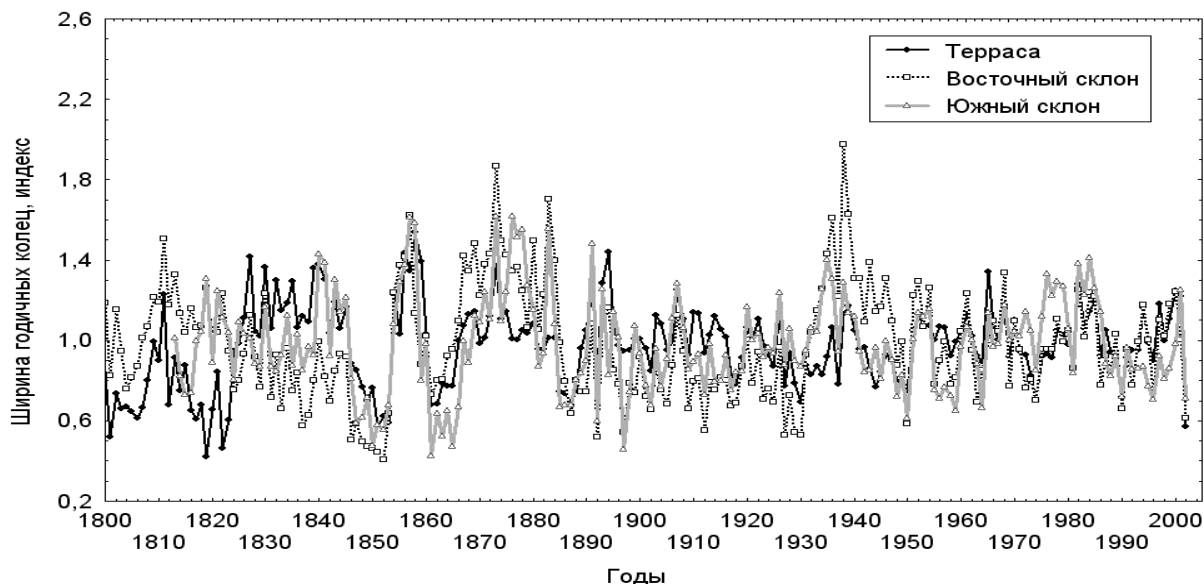


Рисунок 1. Древесно-кольцевые хронологии на территории наледи Улахан-Тарын

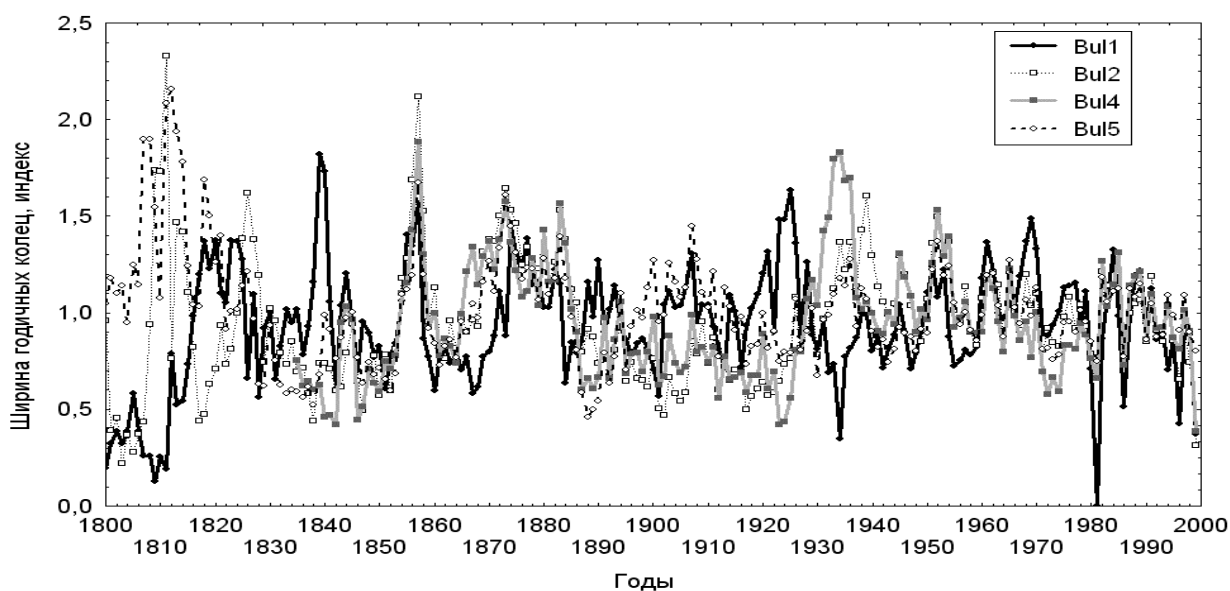


Рисунок 2. Древесно-кольцевые хронологии на территории наледи Булуус

Как показывает корреляционный анализ, между хронологиями имеется видовая и пространственная связь. Корреляция между сосной и лиственницей (BUL1) участка Булуус незначительна – от 0,16 до 0,34. Причем максимальная корреляция наблюдается на нижних границах их произрастания вблизи наледи. На всех участках экологического ряда у сосны наблюдается значительная корреляционная связь – 0,78-0,84.

Анализ связей между хронологиями наледи Улахан-Тарын показывает, что статистически значимая и высокая корреляционная связь (0,63) существует между хронологиями склонов. Учитывая, что эти участки занимают склоны разной экспозиции -

восточной и южный, можно предположить, что в урочище Улахан-Тарын существует внешний фактор влияние которого на прирост деревьев превосходит экспозиционные различия. Возможно, в роли этого фактора выступают массы льда тарынской наледи, которые в весенний, и отчасти, в летний период создают в урочище своеобразный микроклимат.

Из рисунков 1 и 2 видно, что построенные хронологии обоих участков имеют сходные кривые. Ухудшение прироста фиксируется в 1840-е и в 1860-е годы и на протяжении первой трети XX века. Судя по хронологиям склонов наиболее значительные приросты колец ложатся здесь на 70-80-е гг. XIX в, с кульминацией в 40-е гг. XX века. Следует отметить, что так называемое потепление Арктики проявившееся в Якутии в 40-е годы прошлого столетия положительно повлияло на рост деревьев на склоновых участках обеих наледей (восточный и южный склон для наледи Улахан Тарын и участки Bul2 и Bul4 для наледи Булуус). В отличие них участки, расположенные на надпойменной террасе (терраса для Улахан Тарын и Bul5 для Булуус) в этот период увеличение прироста не наблюдается, а для участка Bul1, который находится непосредственно у кромки наледи, происходит подавление роста деревьев. Предполагаем, что в этот теплый период увеличился выход подземных вод, следовательно, и объем наледи, который стал угнетать радиальный прирост деревьев. Время от времени для участка Bul1 наблюдаются подобные снижения прироста.

В целом анализ режима прироста изученных деревьев, особенно древостоев склонов, указывает на достаточно мощный лимитирующий фактор, эффект которого превосходит даже экспозиционные различия. Предположительно он связан с влиянием наледи. В ходе исследований на территории Улахан-Тарын и Булуус можно сделать вывод, что наледь образует своеобразный, локальный микроклимат, определяющий условия произрастания деревьев.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Арэ Ф.Э. Механизм развития и деградации наледи источников Улахан-Тарын // Наледи Сибири. – М.: Наука. – 1969
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепина В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике.- Новосибирск: Наука, 1996.- 246 с.
- Гаврилова М.К. Метеорологические наблюдения в наледной долине Улахан-Тарын // Наледи Сибири. – М.: Наука, 1969. – С. 90-106.
- Ефимов А.И. Незамерзающий пресный источник Улахан-Тарын в Центральной Якутии // Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике, Вып. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 60-105.
- Кривошапкин К.К. Листостебельные мхи памятников природы «Улахан-Тарын» и «Булуус» // Флора и фауна особо охраняемых природных территорий республиканской системы Ытык Кэрэ Сирдэр. Якутск: Изд-во Кудук, 2001. С. 121-125
- Николаев А.Н., Тимофеев П.А. Дендроклиматологические исследования в лесах памятника природы «Булуус» // Национальный природный парк «Ленские столбы»: геология, почвы, растительность, животный мир, охрана и использование: сборник научных трудов. Якутск: Изд-во Якутского госун-та, 2001. С. 39-51.
- Пигузова В.М., Шепелев В.В. Режим наледообразующих источников Центральной Якутии // Геоэкологические и гидрогеологические исследования Сибири.- Якутск: Якутское книжное изд-во, 1972. – С. 177-186.
- Рыкова Ю.В., Чечурова Н.В. Флора эпифитных лишайников памятника природы «Улахан-Тарын» // Флора и фауна особо охраняемых природных территорий республиканской системы Ытык Кэрэ Сирдэр. Якутск: Изд-во Кудук, 2001. С. 111-114.
- Толстихин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 164 с.
- Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепина В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч.1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. Пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
- Methods of Dendrochronology. Application in environmental sciences / Eds. Cook E. Et al. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
- Rinn F. Tsap version 3.5. Reference Manual. Computer program for tree ring analysis and presentation. Hellenberg, Germany, Frank Rinn, 1996. 264 с.
- Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring Bulletin, 1983, Vol. 44, P. 69-75.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ КОНТУРНОЙ ЛАНДШАФТНОЙ ОСНОВЫ ТАКСАЦИОННЫХ ВЫДЕЛОВ ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ ГОРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Р.А. ЗИГАНШИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, [kedr@ksc.krasn.ru](mailto:kedr@ksc.krasn.ru)

### АННОТАЦИЯ

Представлено краткое обобщение особенностей лесоинвентаризации на ландшафтно-лесотипологической основе.

В практике мирового лесоустройства пока не существует ни одной технологии инвентаризации лесов, где бы мелкие природные территориальные комплексы использовались в качестве экотопической основы элементарной единицы лесного хозяйства – таксационных выделов.

Проведенные нами в семидесятые – восьмидесятые годы специальные исследования уже позволяют сформулировать методику инвентаризации лесов на ландшафтно-лесотипологической контурной основе. В качестве контурной основы таксационных выделов при всех разрядах лесоустройства нами предлагается использование многогранговой системы индивидуальных природно-территориальных комплексов (ПТК) в рангах фации, подурочища, урочища, иногда вплоть до простой системы урочищ (Солнцев, 1968). Такую контурную основу следует называть упрощенно-ландшафтной, так как она готовится без натурных исследований почв и литологии в ПТК, а основывается лишь на косвенных связях конкретных почв и литологии с дешифрируемыми признаками природных комплексов.

Таким образом, лесоустройство проводится на основе предварительного камерального контурного ландшафтного дешифрирования, без проведения комплексных ландшафтных исследований. В этом случае не требуется выработки полной ландшафтной типологической классификации ПТК. Камеральная картосхема составляется на признаках, полученных при изучении ландшафтов-аналогов или предварительного изучения ключевых участков данного ландшафта. Классификация выделяемых элементов природной структуры осуществляется по признакам рельефа, растительности, местоположения, в случае необходимости дополнительно еще и по признакам литологии и увлажнения, то есть только по внешним признакам, полученным при камеральном дешифрировании аэрофотоснимков и при полевой таксации.

Устанавливаются следующие этапы дешифрирования: 1. Разграничение ландшафтов (Зиганшин, Рубцов, 1987). 2. Опознавание и выделение ландшафтных групп (Там же, термин введен географом Н.И. Рубцовым). 3. Опознавание и отграничение индивидуальных ПТК на уровне их таксационно-хозяйственной значимости по смешанным признакам рельефа и растительности.

Раскроем детальнее последовательность дешифрирования. На первом этапе на мелкомасштабных аэрокосмических и топографических материалах проводятся границы природных ландшафтов (критерии выделения ПТК в ранге ландшафта, которыми мы руководствуемся, предложены Н.И. Рубцовым, 1979). Каждому из ландшафтов свойствен определенны набор доминантных элементов природной структуры.

На следующем этапе на рабочих стереопарах аэроснимков среднего масштаба (1:10 000 – 1:20 000) дешифрируются границы «ландшафтных групп» (термин предлагается впервые). В горах обычны элементы четырех ландшафтных групп: плакорной (субдоминантной), склоновой (доминантной), гидроморфной (субдоминантной) и болотной (второстепенной). Наличие каждой из этих групп хорошо определяется признаками рельефа: а). вначале следует отделить на снимках плакоры мезохребтов и днищ долин от склонов разного порядка; б) затем выделить границы гидроморфных элементов (то есть днищ

постоянных и временных водотоков), располагающихся в пределах склонов; в) выделить плакоры более низкого уровня (плакоры отрогов мезохребтов); г) обозначить контуры конусов выноса; д) отграничить контуры болотных урочищ на склонах, днищах и плакорах.

На третьем, заключительном этапе дешифрирования (также на рабочих снимках таксаторов) следует руководствоваться смешанными признаками рельефа и растительности: выделять элементы плакоров, склонов и днищ на уровне мелких ПТК (по морфоскульптурным элементам рельефа) и соотносить их с изменением формационной принадлежности, полноты (сомкнутости), продуктивности (по росту в высоту и характеру местоположения) и возраста (по размеру крон и средней высоте) насаждений, а также выделить все нелесопокрытые и частично лесопокрытые ПТК: фации и подурочища каменных россыпей и куполов на плакорах, скальных останцов, каменистых и обрывистых уступов, русел рек и речек, галечников, крупноглыбовых и песчаных берегов рек и речные косы, острова, луговые и кустарниковые участки, нивальные элементы, лавинные и лавинно-ручьевые кулуары; части склонов различных экспозиций, крутизны и залесенности в пределах ледниковых каров и трогов, участки различных видов горных тундр (кустарниковые, кустарничковые, мохово-лишайниковые, каменистые) и так далее.

В виде базовых ПТК при лесоустройстве по первому разряду предлагаем использовать фации, при втором разряде – фации, подурочища, небольшие урочища, а при третьем – урочища, подурочища и крупные фации. При наличии антропогенных и стихийных нарушений древостоев внутри природных комплексов, вновь образовавшиеся модификации должны выделяться с учетом природных границ.

Опытная проверка сравнительной однородности древостоев внутри ландшафтных урочищ и обычных таксационных выделов III разряда лесоустройства, показала полное преимущество для повышения точности таксации дешифрирования на природной основе. Такая контурная основа имеет еще целый ряд преимуществ, в частности при организации хозяйства на водоохранно-защитной основе и при проведении различного рода выборочных и постепенных рубок.

Подытоживая накопленный нами опыт (Зиганшин, 1997) отметим следующее:

1. Впервые предлагается идея использования контурной основы таксационных выделов, основанной на неранжированной, многогранговой системе ПТК.
2. Разработаны конкретные этапы в технике дешифрирования аэроснимков для указанных целей.
3. Доказано на опытных таксационных полигонах повышение качества лесоинвентаризации при таксации по природным контурам, за счет осуществления выборочного метода таксационных измерений на типической (ландшафтной), а не на случайной основе, достигается экономия средств.
4. Предлагаемый метод дешифрирования имеет бесценную перспективу, поскольку позволяет в горах наиболее точно определить категории защитности лесов и категорию эрозионной опасности на участках – на самом высоком уровне подробности, на уровне отдельных насаждений.
5. Впервые появляется возможность организации лесного хозяйства в горах на лесотипологической основе, что позволит выполнить предписания вышестоящих лесохозяйственных органов еще с конца семидесятых годов (решение НТС Гослесхоза СССР от 1977 г.). Это же позволит осуществить на практике давнюю мечту корифеев лесной науки – академика В.Н. Сукачева (1926 и 1957) и профессора Г.П. Мотовилова. (1955).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Зиганшин Р.А. Таксация горных лесов на природной основе. – Красноярск, 1997. – 204 с.
- Зиганшин Р.А., Рубцов Н.И. Крупномасштабное картографирование горных лесов // Ландшафтные методы лесного картографирования. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. – С. 73-80.
- Мотовилов Г.П. Лесоводственные основы организации лесного хозяйства СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 216 с.

Рубцов Н.И. Принципы изучения горных лесных ландшафтов бассейна оз. Байкал // Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. – С. 45-59.

Солнцев Н.А. К теории природных комплексов // Вестн. Москов. унив-та, серия геогр. – 1968, № 3. – С. 14-27.

Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П. Методические указания к изучению типов леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 116 с.

УДК 581.5:528 (571.63)

## **КАРТИРОВАНИЕ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕУССУРИЙСКОГО СТАЦИОНАРА)**

А.Н. ЯКОВЛЕВА

Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток, [ANYakovleva@mail.ru](mailto:ANYakovleva@mail.ru)

### **АННОТАЦИЯ**

Составлена крупномасштабная геоботаническая карта лесной растительности территории Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара Биолого-почвенного института ДВО РАН. Всего на карте обозначено 20 растительных группировок, из них 15 соответствуют типам леса, расположенным в легенде по изменению градиентов увлажнения и температурного режима.

Крупномасштабные геоботанические карты позволяют отобразить максимальный объем геоботанической информации и способствуют углублению и упорядочиванию знаний об особенностях распространения растительных сообществ.

Цель настоящей работы – составление крупномасштабной геоботанической карты лесной растительности с использованием индикационных методов на территории Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара Биолого-почвенного института ДВО РАН.

Изучаемая территория расположена в бассейне р. Правая Соколовка, являющейся притоком 4-го порядка р. Уссури в ее верхнем течении. По своим природным характеристикам территория стационара типична для среднегорного пояса Южного Сихотэ-Алиня и служит своеобразным эталоном южной тайги с господством широколиственно-кедровых и пихтово-еловых лесов.

В качестве основного материала служили геоботанические описания, проведенные в вегетационные сезоны 1999 - 2003 гг. на территории стационара. Кроме того, были использованы геоботанические описания постоянных пробных площадей, заложенных ранее сотрудниками лаборатории лесоведения БПИ ДВО РАН. Геоботанические описания проводили на участках 500 - 1000 м<sup>2</sup> согласно общепринятым геоботаническим и лесоводственным методикам. В ходе работ применяли топографические карты местности М 1:25 000, 1:100 000, лесоустроительные планы насаждений М 1:25 000.

При построении классификации растительности использовались индикационные методы, основанные на выявлении экологического потенциала лесорастительных условий, как по признакам растительного покрова, так и по показателям условий местопроизрастания. Классификационная схема лесной растительности стационара составлена на основе разработанного Т.А. Комаровой (Комарова, Ащепкова, 2000; Комарова, Прохоренко, 2001) комбинированного подхода, основанного на важнейших принципах географо-генетической классификации Б.П. Колесникова (1956), на опыте совместного использования групп сопряженных дифференциальных (индикаторных) видов и региональных экологических шкал, составленных по методу Л.Г. Раменского (1938).

Теоретической основой для построения легенды геоботанической карты послужили принципы географо-генетической классификации Б.П. Колесникова. В качестве основной единицы классификации принят тип леса, выступающий как определенный этап лесообразовательного процесса. Типы леса были объединены в экологические комплексы на

основе близости типов их лесорастительных условий по режимам рассматриваемых прямодействующих факторов. При выделении типологических единиц лесной растительности исследуемого региона учитывали только достаточно обособленные друг от друга и не соприкасающиеся своими рубежами совокупности сообществ, а переходные группы описаний при этом рассматриваются как промежуточные варианты. Учитывали также основные параметры условий местообитания: экспозицию, крутизну, протяженность и открытость склонов, механический состав почвы.

Всего было выделено 15 типов леса с вариантами. В названии типов леса отражена видовая принадлежность главной лесообразующей породы, а в случае полидоминантных насаждений указываются древесные породы, постоянно сопутствующие главной. Также приведены названия растений нижних ярусов (подлеска и травяного покрова), играющих роль основных доминантов или индикаторов условий местообитания, установленных с помощью табличного сравнения по методу Браун-Бланке. Названия типов леса из-за их большого объема в данной работе не приводятся.

На основе близости сообществ по основным прямодействующим факторам (водному режиму, теплу и богатству почв), было выделено пять экологических комплексов: *A* – тепло-сухие дубово-кедровые леса, *B* – умереннотепло-свежие широколиственно-кедровые, *C* – прохладно-влажноватые темнохвойно-кедровые леса с широколиственными породами, *D* – холодно-влажные кедрово-темнохвойные леса с березой шерстистой, *E* – холодно-влажные темнохвойно-ильмово-ясеновые леса.

В экологический комплекс *A* вошли тепло-сухие дубово-кедровые леса с большим участием дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Lebed.), распространенные на выпуклых инсолируемых склонах, преимущественно в их привершинной части и на гребнях хребтов в мезоксерофитных, ксеромезофитных, а по почвенному богатству в мезоолиготрофных и олигомезотрофных условиях.

Экологический комплекс *B* включает умереннотепло-свежие широколиственно-кедровые леса, занимающие крутые и среднекрутые склоны преимущественно световых экспозиций. Почвы бурые, свежие, периодически сухие, более богатые, чем в лесах предыдущей группы.

Экологический комплекс *C* включает прохладно-влажноватые темнохвойно-кедровые леса с широколиственными породами, характеризующиеся мезофитными и гигромезофитными условиями местообитаний с бурыми, свежими, периодически влажными почвами.

В экологический комплекс *D* входят холодно-влажные кедрово-пихтово-еловые леса с березой шерстистой (*Betula lanata* (Regel) V. Vassil.), распространенные в гигромезофитных, мезогигрофитных и мезотрофных условиях, которые складываются преимущественно в нижних и средних частях склонов теневых экспозиций.

Ильмово-ясеновые леса с примесью темнохвойных пород, произрастающие в долинах рек и ключей, объединены в экологический комплекс *E*.

Легенда геоботанической карты оформлена в виде таблицы, в которой приводятся особенности состава и условий местопроизрастания выделяемых типов леса. Растительность исследуемого района подчинена общим закономерностям высотной поясности, обусловленной горным характером поверхности. Лесная растительность рассматривается в составе двух геоморфологических комплексов: 1) леса горных склонов и возвышенностей; 2) леса шлейфов горных склонов и речных долин. Первый из них объединяет типы леса, входящие в состав экологических комплексов тепло-сухих дубово-кедровых лесов, умереннотепло-свежих широколиственно-кедровых лесов, прохладно-влажноватых темнохвойно-кедровых лесов с широколиственными породами и холодно-влажных кедрово-темнохвойных лесов с березой шерстистой, а второй – типы леса экологического комплекса холодно-влажных хвойно-широколиственных лесов с ясенем маньчжурским (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) и ильмом японским (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.). Все картируемые единицы растительного покрова расположены в легенде по степени увеличения увлажнения местообитаний.



На основе разработанной легенды были составлены крупномасштабная геоботаническая карта (рис. 1) и карта пространственного распределения экологических комплексов (рис. 2) на территории Верхнеуссурийского стационара.

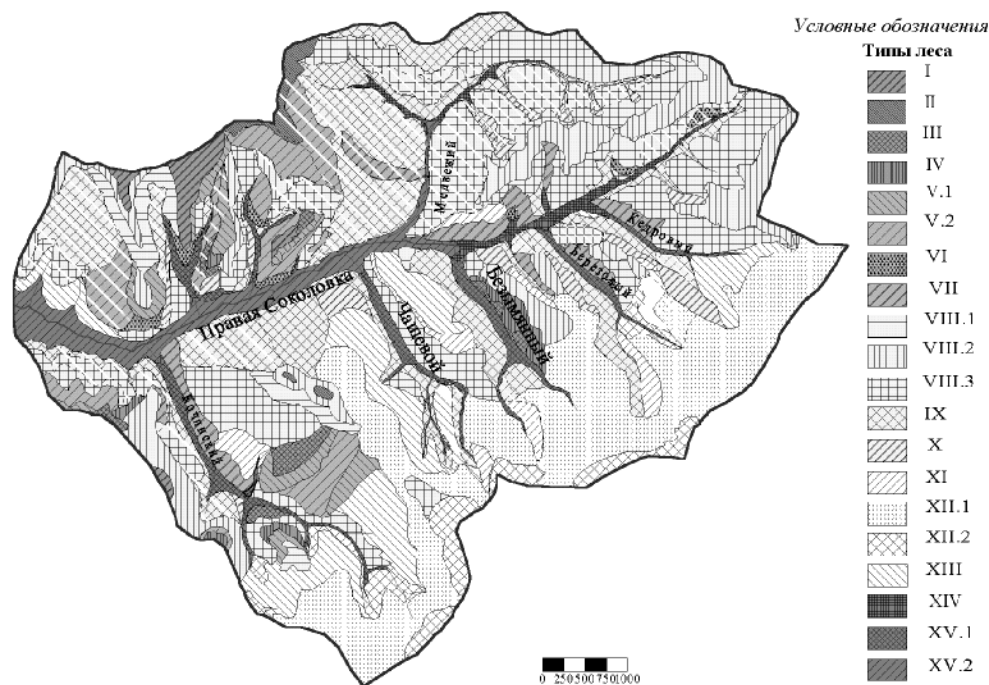


Рис.1. Геоботаническая карта лесной растительности Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара

Примечание: косой белой штриховкой на карте показаны производные леса

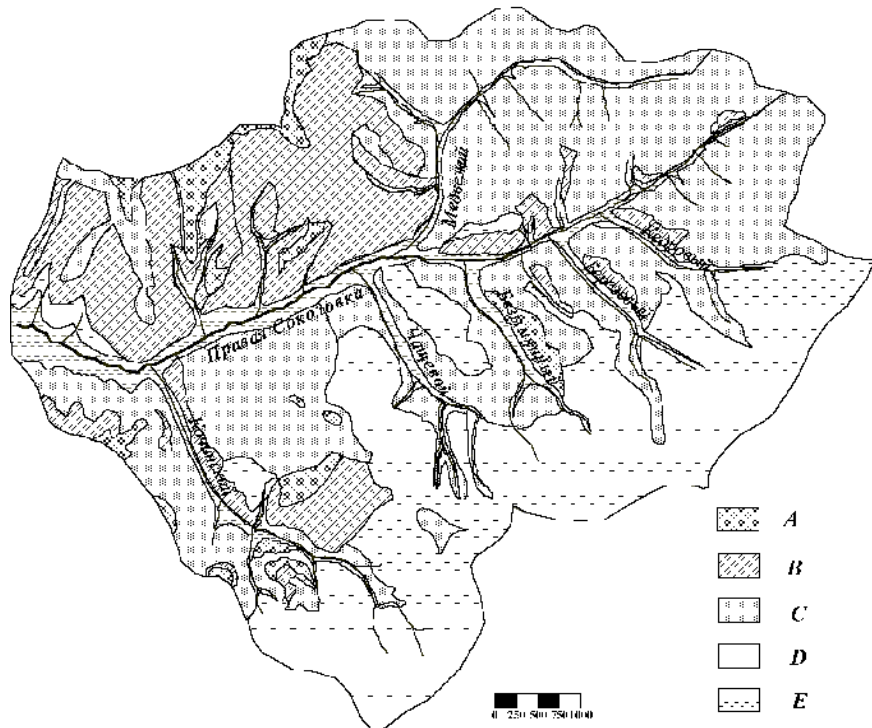


Рис. 2. Картограмма пространственного распределения экологических комплексов (A-E) на территории Верхнеуссурийского стационара.

Как следует из данных карт, наибольшую площадь на территории стационара занимают сообщества кедрово-темнохвойного с участием березы шерстистой, приуроченные к пологим склонам теневых экспозиций. Тепло-сухие дубово-кедровые леса встречаются на территории стационара довольно редко и в основном на его южном макросклоне. Широколиственно-кедровые леса широко представлены главным образом в среднем и



нижнем течении р. Правая Соколовка. Прохладно-влажноватые темнохвойно-кедровые леса широко представлены на всей территории Верхнеуссурийского стационара.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. - 263 с.
- Комарова Т.А., Ащепкова Л.Я. Разработка региональных экологических шкал и использование их при классификации лесов с участием сосны корейской кедровой (*Pinus koraiensis*) // Комаровские чтения. - Владивосток: Дальнаука, 2000. - Вып. 46. - С. 7-72.
- Комарова Т.А., Прохоренко Н.Б. Региональные экологические шкалы и использование их при классификации лесов полуострова Муравьев-Амурский (Приморье) // Ботан. журн., 2001. - Т. 86, № 7. - С. 101- 114.
- Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. - М.: Сельхозгиз, 1938. - 620 с.

УДК 630\*18.581.5:630\*181.41

### СУКЦЕССИИ ДРЕВЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.И. БУЗЫКИН, И.С. ДАШКОВСКАЯ, Т.М. ОВЧИННИКОВА, В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск, [Institute@forest.akadem.ru](mailto:Institute@forest.akadem.ru)

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены подходы к моделированию сукцессионных процессов в бореальных лесах Сибири. Дано описание методов оптимизационного моделирования сукцессионной динамики.

Бореальные леса Сибири существуют в условиях сильного воздействия возмущающих факторов на процессы формирования, роста и сукцессий древесных ценозов, составляющих их пород и поколений. Это воздействие обусловлено существенной флуктуацией суровых погодно-климатических ситуаций, лесными пожарами, вспышками массового размножения насекомых – вредителей леса, рубками древостоев и другими причинами, что отражается на вариативности сценариев сукцессий, времени пребывания ценозов в различных состояниях и их характеристиках.

После разрушающего воздействия лесной фитоценоз в пределах одного типа леса и занимаемого им участка обычно распадается на динамическую мозаику экосистемных структур, находящихся в разных сукцессионных состояниях. Они представляют собой иерархическую систему таксонов состояний: «тип субстрата (микроусловий среды) для возобновления → тип молодняка → тип древостоя (насаждения) → тип леса, близкий к исходному».

Другая форма мозаичности лесных экосистем, осложняющая их сукцессии, обусловлена совместным воздействием на них регулирующих и модифицирующих факторов и сопряжением детерминированных этими факторами процессов лесообразования, болотообразования, ерничкообразования, олуговения и др. Эти факторы и процессы увеличивают число переходных состояний экосистем и сценариев сукцессий и усложняют их изучение.

Такая дивергенция типа леса (лесной экосистемы) после воздействия разрушающего фактора представляет собой мозаику экологических структур разного ранга с их существующими особенностями потребует для своего анализа и оценки адекватного методического подхода.

Традиционно динамику сукцессионных процессов предлагается моделировать с помощью дискретных регулярных цепей Маркова (Джефферс, 1981). В таких моделях исследователь задает число состояний в системе (каждое из состояний соответствует определенному этапу сукцессии), и по данным наблюдений определяет матрицу вероятностей переходов из состояния в состояние. Далее с помощью стандартных методов

теории марковских цепей по матрице переходов определяется время пребывания системы в каждом из состояний и вектор предельных состояний системы, трактуемые как скорость сукцессионного процесса и вероятности достижения определенных состояний экосистемы.

Однако использование марковских цепей для описания сукцессионных процессов не вполне корректно. В марковских цепях распределение времени перехода из одного состояния в другое – геометрическое (Кемени, Снелл, 1970). Для реальных лесных ценозов и сукцессионных процессов в них распределение времени перехода из состояния в состояние существенно отличается от геометрического. Кроме того, в марковских моделях очень высока дисперсия времен перехода из состояния в состояние в регулярных цепях Маркова, что не позволяет прогнозировать ход сукцессионных процессов уже после двух-трех переходов из состояния в состояние.

Условие однородности функции распределения времен перехода из состояния в состояние делает некорректным одновременное рассмотрение кратко- и долгосрочных этапов сукцессионного процесса. Для описания «быстрых» составляющих сукцессионных процессов, происходящих, например, при освоении дерева насекомыми, использование марковских моделей вполне корректно. В частности, такая модель была использована для описания освоения ксилофагами сосны обыкновенной (Пальникова, Суховольский, 1982). Однако при этом приходилось рассматривать не регулярные, а поглощающие цепи Маркова, что ограничивало описание дальнейших изменений в лесном насаждении после окончания освоения доступных для ксилофагов деревьев. Кроме того, подобный подход позволяет решать только одну прямую задачу – по заданной матрице переходов деревьев из состояния в состояние определяется финальное распределение деревьев по категориям для климаксового состояния ценоза.

Модели сукцессионных процессов можно рассматривать по аналогии с критическими явлениями в физических системах. Так, сукцессионные процессы, связанные со сменой древесной, кустарниковой и травянистой растительности в лесной экосистеме, можно трактовать как фазовые переходы первого рода. При этом отдельной фазой можно считать определенное сочетание растительных компонентов. В этом случае возможно сосуществование смешанных насаждений. Новая фаза может появляться как одновременно на всей изучаемой территории (например, после пожаров и вспышек массового размножения насекомых) или же на локальных участках, которые постепенно увеличиваются в размере. С границей раздела фаз (экотоном) всегда связаны дополнительные межпопуляционные взаимодействия, которые могут приводить как к росту новой фазы, так и к торможению ее развития. Если появление локальных участков с новым типом лесной растительности (новой фазы) тормозится, а вероятность того, что быстро появятся обширные территории с этим новым типом ценозов мала, то в результате могут возникнуть экосистемы, которые по аналогии с физическими системами можно назвать «перегретыми». Воздействия модифицирующих факторов на такие экосистемы могут привести к крайне быстрому переходу их в другое состояние. К «перегретым» метаклимаксовым сообществам можно отнести, в частности, насаждения со значительным преобладанием деревьев старших возрастов.

Модели могут описывать, как статические, так и динамические аспекты сукцессии как критического феномена. В первом случае задачей моделирования являются выявление стабильных или метастабильных типов сукцессий. Задачей, стоящей при построении более сложных, кинетических моделей сукцессионных процессов, является описание временной динамики сукцессий. Обычно как в статических, так и в динамических моделях учитывается в основном влияние регулирующих факторов на сукцессионный процесс. При учете влияния на сукцессионный процесс в экологических системах модифицирующих факторов (таких, например, как температура и осадки) действие этих факторов можно рассматривать по аналогии с воздействием полей (электрических, магнитных, гравитационных и т.п.) на физические системы.

Ранее для описания функционирования экологических объектов был введен принцип максимальной экологической полезности, согласно которому параметры экологического объекта или системы таковы, что при данных условиях достигался максимум функции экологической полезности  $U$  или минимум потенциала экологического риска  $G = 1 - U \Rightarrow \min$  (Суховольский, 2004а). Величина  $G$  характеризует риск гибели популяции в зависимости от различных популяционных характеристик и характеристик среды. Вообще говоря, функция экологического риска  $G$  зависит от разнообразных регулирующих и модифицирующих факторов и точная форма этой зависимости неизвестна. С точки зрения оптимизационного подхода устойчивым состояниям растительного сообщества будут соответствовать локальные минимумы функции экологического риска. В этом случае возможно согласовать дискретную и непрерывную концепции природы фитоценоза. Действительно, если предположить, что число локальных экстремумов функции экологического риска велико, а высоты потенциальных барьеров малы, то при приложении даже небольшого внешнего поля (то есть достаточно малых изменений температурного, водного и других режимов жизни растений) возможны переходы из одного устойчивого состояния в другое, число возможных состояний может быть достаточно велико и в пределе стремиться к бесконечности, то есть реализуется континуальный тип распределения растительных сообществ.

Для моделирования лесных климаксовых сообществ возможно использован эколого-популяционный аналог теории фазовых переходов второго рода Л.Д.Ландау (Ландау, Лифшиц, 1964). Подобный подход использовался для описания процессов вспышки массового размножения лесных насекомых (Суховольский, 2004б).

В моделях, описывающих устойчивые климаксовые состояния растительных сообществ, вводится такой показатель, как параметр порядка  $q$ . Для смешанных и хвойных насаждений бореальных лесов Сибири в качестве параметра порядка удобно выбрать долю деревьев лиственных пород в насаждении. Для чисто лиственных насаждений параметр порядка  $q = 1$ . Для чисто хвойных насаждений параметр порядка  $q = 0$ . Смешанные насаждения характеризуются значениями параметра порядка  $0 < q < 1$ . При сукцессионном переходе от лиственных к хвойным насаждениям происходит непрерывное уменьшение величины параметра порядка от 1 до 0. Существование климаксовых хвойных насаждений в рамках оптимизационного подхода соответствует случаю, когда функция экологического риска имеет один минимум и растительное сообщество рано или поздно достигает состояния, характерного для этого минимума, когда деревьев лиственных пород в лесу нет. Но потенциально возможно, что функция экологического риска имеет не один, а несколько локальных минимумов. Тогда должны существовать смешанные климаксовые лесные сообщества, характеризуемые определенным значением параметра порядка, отличным от нуля.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964. – 567 с.  
 Пальникова Е.Н., Суховольский В.Г. Методы оценки устойчивости деревьев к нападению ксилофагов// Насекомые лесостепных боров Сибири. Новосибирск: Наука. - 1982. - С. 128 - 138.  
 Суховольский В.Г. Экономика живого. Новосибирск: Наука, 2004 . 140 с.  
 Суховольский В.Г. Вспышка массового размножения как фазовый переход: феноменологическая теория //Моделирование неравновесных систем-2004. Красноярск, 2004, С. 162 - 163.  
 Джеффферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. М.: Мир, 1981. – 256 с.  
 Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. – 271 с.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПОЙМАХ СРЕДНИХ РЕК КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. РОМАНЕНКОВА

Калининградский государственный технический университет, Калининград, [bryss@klgtu.ru](mailto:bryss@klgtu.ru)

### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты изучения флоры и растительности пойменных лугов р. Деймы. Выявлены сроки максимальной урожайности доминирующих сообществ

Растительность речных долин развивается в особых экологических условиях связанных с деятельностью рек и в рамках конкретной природной зоны, но формирует свою собственную интразональную среду.

В настоящее время все больше и больше появляется необходимость в изучении пойменной растительности и динамики ее продуктивности. Это связано с общей тенденцией снижения продуктивности лугов, уменьшение площади сенокосных угодий. Знание видового и экобиоморфного состава, динамики урожайности с учетом метеорологической обстановки года позволяет сделать выводы о потенциальных возможностях луговых сообществ сенокосного использования.

Для лугов лесной зоны Калининградской области свойственны общие закономерности установленные В.Р. Вильямсом [1]. Но каждый речной экотоп обладает неповторимостью, что связано с характером уклона, скоростью течения воды в руслах рек, характером отложения наилка и потому требует детальных исследований. Кроме того, характер поемности, ее сроки и продолжительность находят отражение, как в общей физиономичности, так и в возможности хозяйственного использования.

По ботанико-кормовому районированию Калининградской области пойма р. Деймы относится к Полесско-Черняховскому району. В западной части равнины, особенно вдоль р. Деймы и на всем протяжении р. Прегель, преобладают дерновые, остатчнооподзоленные, среднесуглинистые и супесчаные почвы с частой сменой гранулометрического состава верхних почвенных горизонтов.

Исследования растительного покрова осуществлялось методом ландшафтно-экологических рядов, заложенных перпендикулярно руслу реки. По поперечному профилю от русла р. Деймы было установлено четыре типичных по заливанью местообитания: кратко - (менее 2 недель), средне- (2-4 недели), долго- (4-6 недель) и осободолгопоемные (6-8 и более недель).

Структуру и продуктивность травостоя изучали в проценозах и фитоценозах, представляющих собой основные стадии эколого-генетических рядов (сукцессионных) рядов. Они приурочены к разным к разным позициям рельефа и типам гидроморфных почв, а по характеру увлажнения составляют единый экологический ряд.

В работе использована терминология и система обозначений широко принятая в геоботанической литературе [2].

Продуктивность – это количество фитомассы, произведенной сообществом за единицу времени. Она отражает биологический потенциал экосистемы. Запас фитомассы складывается из запаса живой надземной фитомассы, ветоши, подстилки, живых подземных органов и подземной мортмассы. Продукция сообщества определяется суммированием продукции надземных и подземных органов.

Показателем структуры растительного вещества сообщества являются распределение его компонентов по горизонтам, соотношение живой и мертвой фитомассы.

При учете обилия надземной массы была использована шкала Друде (sol., sp., сор<sub>1</sub>, сор<sub>2</sub>, сор<sub>3</sub>, soc), в сочетании с определением проективного покрытия.

С целью выявления сроков максимального накопления надземной фитомассы доминантов фитоценозов в различных экологических условиях, была прослежена сезонная динамика ее накопления.

Для оценки продуктивности полидоминантных сообществ использован ботанический подход, заключающийся в суммировании запасов зеленой фитомассы доминантных видов, учтенный в момент их максимального развития.

Урожайность определялась укосным методом на укосных площадках площадью 0,25 – 1 м<sup>2</sup>. Учитывая значительную однородность растительного покрова, повторность составила 10 учетных площадок. После срезания, надземной фитомассы на учетных площадках производился сбор ветоши и опада, с тем, чтобы отмершая фитомасса не оказала количественного влияния на подземную мортмассу и фитомассу корней.

Ключевые участки заложены по руслу реки в двух географических пунктах (п. Изобильное Полесского района и г. Полесск). Они достаточно близки по флористическому составу, местоположению и по режиму использования; рельеф - плоско-волнистый. Для двух вариантов ключевых участков используются различные режимы использования: первые – это сенокосы, вторые характеризуются заповедным режимом.

В п. Изобильное прирусловая часть поймы занимает узкую полосу вдоль русла реки, имеются песчаные наносы: гривы (повышения) чередуются с западинами (межгивные понижения) – это самая высокая часть поймы. Водная растительность представлена сообществами макрофитов. В условиях естественного гидрологического режима в прирусловой части поймы доминируют сообщества рогоза узколистного, сусака зонтичного, тростника обыкновенного. Они представлены как моноценозными вариациями, так и фоновыми сообществами – осоково-сусаково-рогозовое, сусаково-рогозовое и тростниковое. Центральная часть поймы сильно заочкачена. Растительность представлена злаково-разнотравными, разнотравно-злаковыми, осоковыми, лисохвостно-осоковыми, лисохвостно-таволгово-осоковыми, разнотравно-злаковыми с таволгой. Перечисленные сообщества по сравнению с рогозовыми и тростниковыми занимают значительные площади в мезопойме. Притеррасная часть поймы отличается неоднородным рельефом: повышенные участки, занятые кокорышем перемежаются с западинами с преобладанием щучки дернистой, на выровненных участках преобладает лисохвост луговой. Пятна мозаичности носят эдафотопический характер. В притеррасной части характерны пойменный лес, где можно выделить островки ольшаников, ивы, характерна черемуха, смородина черная. Основные биологические особенности древесной растительности пойменных местообитаний заключаются в способности выдерживать избыточное почвенное увлажнение, и даже застой воды на поверхности при высокой влажности воздуха [2]. Различные экобиоморфы пойменных лугов способны к образованию придаточных корней, в том числе деревья и кустарники. Притеррасные луга заливаются водами на продолжительный срок – 30-40 дней и более.

На ключевых участках (г. Полесск) прирусловая часть представлена тростниковыми и в понижениях осоковыми моноценозами, а также разнотравно-таволгово-осоково-тростниковой ассоциацией. В центральной части доминируют следующие ассоциации: осоковая, таволгово-осоковая, осоково-тростянкавая. В притеррасной части поймы, также, как и на ключевых участках в п. Изобильное, характерен пойменный лес, но который представлен исключительно видами ив. Луговая растительность - тростниковыми и горцево-злаково-таволговыми ассоциациями.

В данной работе мы приводим усредненные результаты по продуктивности.

Максимальная урожайность доминантных сообществ по ключевым участкам представлена в табл. 1,2.

Таблица 1. Максимальная урожайность доминантных сообществ различных частей поймы р. Деймы (п. Изобильное Полесского района, 10.06.2004 г)

Название ассоциации	Приусловая часть	Центральная часть	Притеррасная часть
	урожайность, ц/га		
Осоково-лисохвостная	12,4	-	-
Лисохвостно-осоковая	13,9	-	-
Лисохвостно-таволгово-осоковая	-	14,6	-
Разнотравно-злаковая с таволгой	-	16,3	-
Разнотравно-злаковая	-	-	14,5
Лисохвостная	-	-	3,9
Люпиново-лисохвостно-кокорышевая	-	-	24,2

Таблица 2. Максимальная урожайность доминантных сообществ различных частей поймы р. Деймы (г. Полесск, 12.06.2004 г)

Название ассоциации	Приусловая часть	Центральная часть	Притеррасная часть
	урожайность, ц/га		
Тростник у кромки воды	44,0	-	-
Осоковая в понижении	22,3	-	-
Разнотравно-таволгово-осоково-тростниковая	30,0	-	-
Осоковая	-	10,0	-
Таволгово-осоковая	-	27,1	-
Осоково-тростяниковая	-	32,4	-
Тростниковая	-	-	42,0
Горцево-злаково-таволговая	-	-	17,8

Сравнительный анализ двух ключевых участков с различным режимом использования показал, что при доминировании в сообществах одинаковых видов наибольшей продуктивностью обладают сообщества при заповедном режиме использования (отсутствие сенокосения и выпаса), как при доминировании в сообществах тростника обыкновенного, так и в сообществах, где эдификатором и субэдификатором выступают виды осок.

Во многом общая большая продуктивность на ключевых участках в пойме р. Деймы (г. Полесск) объясняется более активным развитием двудольного разнотравья.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вильямс В.Р. Развитие различных областей речных пойм: собр. соч. – М., 1950. – т. 5. – С. 375-387.  
 Титлянова А.А. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. – Новосибирск, 1988. – 134 с.

УДК 630\*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ПРИРОСТА ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

А.В.ГРОМАДИН<sup>1</sup>, В.К. ХЛЮСТОВ<sup>1</sup>, А.В.БЕЛЯКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, [khlustov@timacad.ru](mailto:khlustov@timacad.ru)

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, [aibeliakov@yahoo.com](mailto:aibeliakov@yahoo.com)

#### АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются вопросы статистического моделирования возрастной динамики средней высоты, среднего диаметра, объема среднего дерева сложных пихтовых древостоев, показаны закономерности изменения объемного и линейных показателей текущего прироста, их соотношения в древостоях различного возраста по ступеням средних высот в возрасте 100 лет.

Многочисленными дендрохронологическими исследованиями, проведенными в различных лесорастительных районах, подтверждено наличие цикличности линейного годовичного прироста. В связи с тем, что линейный радиальный прирост является лишь одной из составляющих текущей продуктивности отдельных деревьев и древостоев в целом, возникает необходимость рассмотрения закономерностей соотношения между объемной и линейной величиной прироста. Правомочность поставленной задачи подтверждается ранее разработанным и рекомендуемым в лесной таксации способом определения объемного прироста деревьев по таблицам элементарного прироста, представленного соотношением  $Z_v/Z_r$  и названного способом Лёча (В.В.Антанайтис, В.В.Загребев, 1981). Входом в таблицы элементарного прироста отдельных деревьев являются диаметр на высоте груди и высота.

При выявлении закономерностей этого показателя для древостоев предпринята попытка рассмотрения возрастной динамики средних высот ( $H_A$ ) по уровням продуктивности, выраженным средней высотой в 100-летнем возрасте древостоев ( $H_{100}$ ), среднего диаметра древостоя ( $D$ ) во взаимосвязи с возрастом ( $A$ ) и средней высотой, а также объема среднего дерева древостоя ( $V$ ), связанного с указанными переменными системой уравнений.

Решение поставленной методической задачи осуществлено на примере сложных пихтовых древостоев горных лесов Северного Кавказа. Разработанная для этого региона шкала ступеней высот описывается регрессией вида:

$$H_A = \exp(-4,62494 \ln A + 1,513824 \ln^2 A - 0,11065 \ln^3 A + 3,16753 \ln H_{100} - 0,47054 \ln A \ln H_{100}) \quad (1)$$

$$R^2=0,999; F=1548,5; t=[162,5; 159,6; 146,1; 140,4; 99,5;]$$

$$\lim A = 40 - 200 \text{ лет}; \lim H_{100} = 10-18 \text{ м.}$$

Наглядно степень соответствия хода роста в высоту продемонстрирована на рисунке 1.

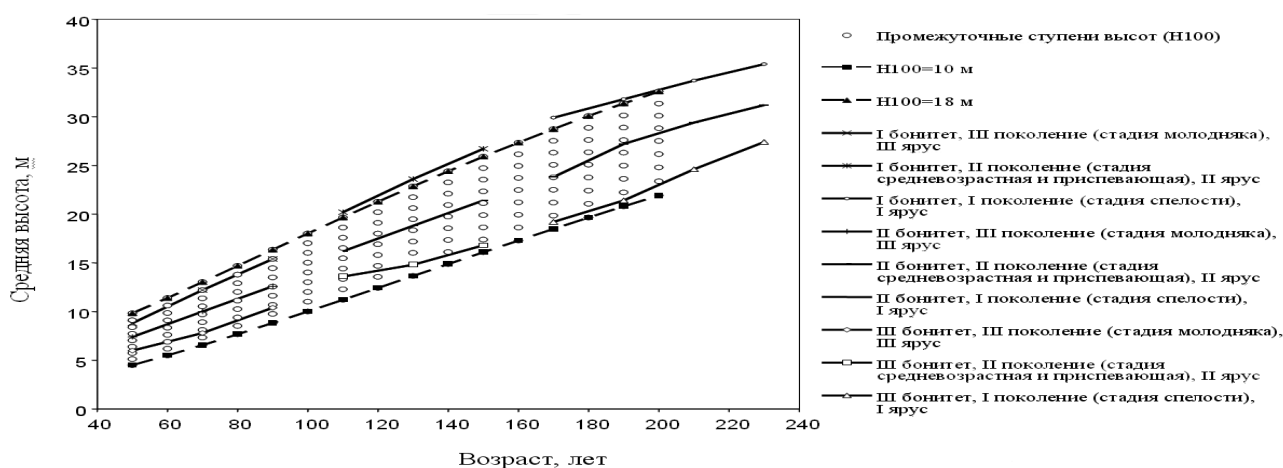


Рис. 1. Сравнение возрастной динамики средних высот сложных пихтовых древостоев по однометровым ступеням высот в 100-летнем возрасте (1) и бонитетам (по Г.С. Дзедзисашвили, 1982) горных лесов Северного Кавказа.

$$D = \exp(0,053809 + 0,230312 \ln A + 0,849392 \ln H) \quad (2)$$

$$R^2=0,999; F=9700,1; t=[1,7; 9,6; 30,5]$$

$$V = \exp(-9,35312 + 1,062673 \ln H + 1,733372 \ln D) \quad (3)$$

$$R^2=0,999; F=30288,0; t=[136,8; 7,6; 13,7]$$

В связи с тем, что в уравнениях (2) и (3) в качестве независимой переменной выступает средняя высота, возникает необходимость в дифференциации этих показателей по уровням, соответствующим однометровым ступеням высот в 100-летнем возрасте древостоя. Наглядно закономерности роста, представленные регрессиями, показаны на рисунке 2.

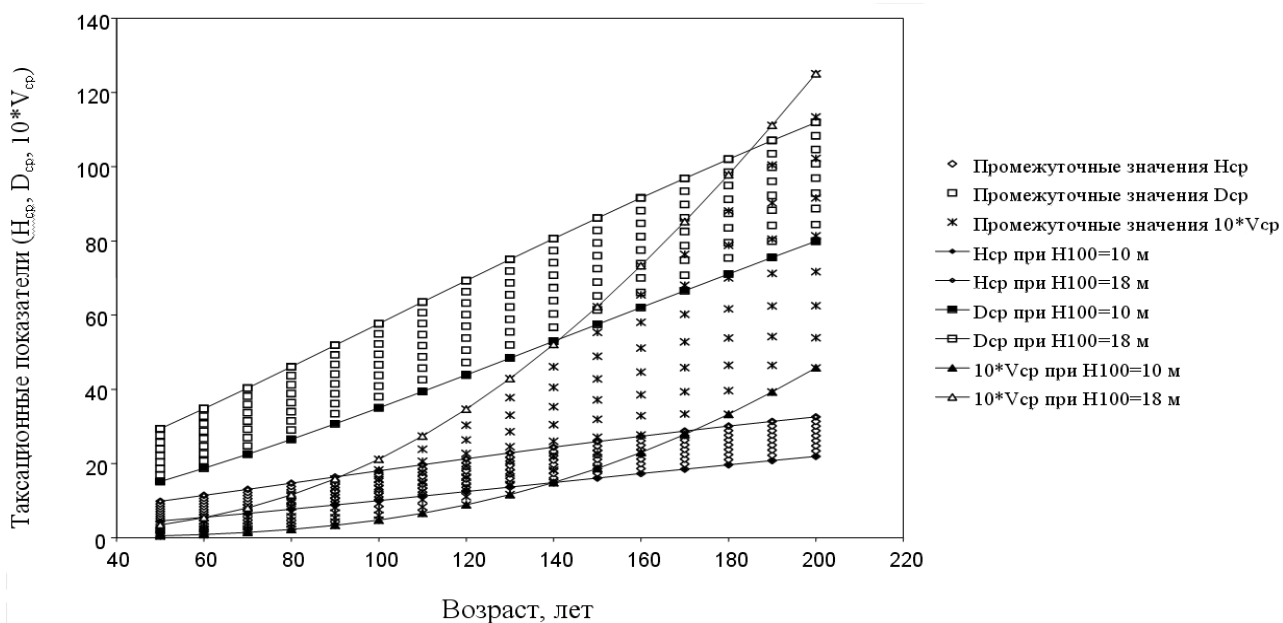


Рис. 2. Возрастная динамика средней высоты ( $H_{cp}$ ), среднего диаметра ( $D_{cp}$ ) и 10-кратного объема среднего дерева ( $10 \cdot V_{cp}$ ) по однометровым ступеням средних высот в 100-летнем возрасте пихтовых древостоев горных лесов Северного Кавказа.

Кривые хода роста таксационных показателей, дифференцированных по ступеням средних высот древостоев в 100-летнем возрасте, позволили перейти к их текущему приросту за 10-летний период роста. В результате были получены модели (4), (5), (6).

$$Z_H = \exp(-2,20071 - 3,9214 \ln A + 1,53994 \ln^2 A - 0,13827 \ln^3 A + 3,02976 \ln H_{100} - 0,53665 \ln A \ln H_{100}) \quad (4)$$

$$R^2=0,999; F=10694,9; t=[1,75; 4,9; 9,0; 11,4; 90,0; 76,9]$$

$$Z_D = \exp(-1,07504 - 3,04351 \ln A + 1,23521 \ln^2 A - 0,11056 \ln^3 A + 2,554447 \ln H_{100} - 0,44533 \ln A \ln H_{100}) \quad (5)$$

$$R^2=0,999; F=22117,1; t=[1,4; 6,3; 12,1; 15,2; 126,4; 106,4]$$

$$10 \cdot Z_V = \exp(-7,42821 - 10,9093 \ln A + 3,929392 \ln^2 A - 0,31072 \ln^3 A + 8,084697 \ln H_{100} - 1,27891 \ln A \ln H_{100}) \quad (6)$$

$$R^2=0,999; F=12937,9; t=[8,7; 19,9; 33,7; 37,7; 353,4; 269,8]$$

Графическая интерпретация закономерностей прироста представлена на рисунке 3. Математико-статистическое представление закономерностей объемного и линейных приростов среднего дерева в древостоях позволило решить поставленную задачу моделирования возрастной динамики элементарного прироста, выраженного функционально соотношениями. Численные коэффициенты моделей (7) и (8) по правилам выполнения арифметических действий с логарифмами могут быть получены как разность коэффициентов уравнений (6) и (5), (6) и (4).

$$Z_V/Z_D = \exp(-6,35317 - 7,86575 \ln A + 2,694181 \ln^2 A - 0,20016 \ln^3 A + 5,53025 \ln H_{100} - 0,83357 \ln A \ln H_{100}) \quad (7)$$

$$R^2=1,0; F=64723125,9; t=[55,8; 108,0; 173,6; 182,4; 1815,5; 1320,8]$$

$$Z_V/Z_H = \exp(-5,2275 - 6,98786 \ln A + 2,389452 \ln^2 A - 0,17245 \ln^3 A + 5,054936 \ln H_{100} - 0,74225 \ln A \ln H_{100}) \quad (8)$$

$$R^2=1,0; F=5340389,9; t=[12,7; 26,4; 42,5; 43,4; 458,5; 324,9]$$

На рисунке 4 представлены линии регрессии возрастной динамики элементарных приростов, свидетельствующие об их увеличении с возрастом древостоев. По мере увеличения уровня продуктивности древостоев растет и соотношение между объемным и линейными приростами средних таксационных показателей. Наиболее интенсивно это изменение проявляется при использовании прироста в высоту.

Наибольшая стабильность элементарного прироста наблюдается при использовании радиального прироста.



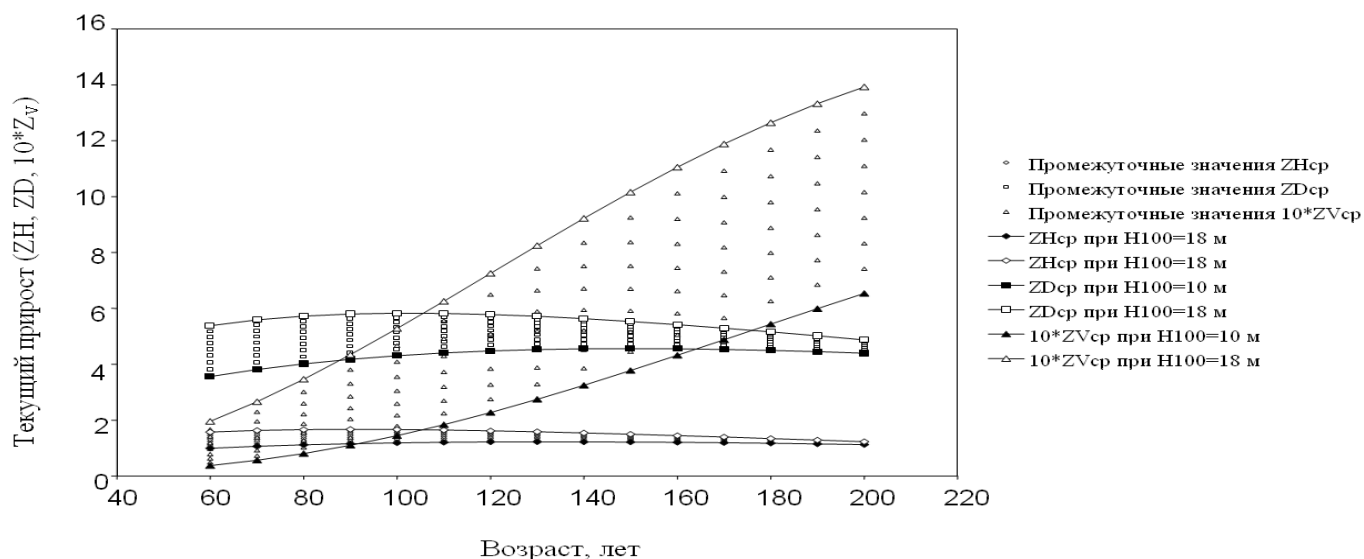


Рис. 3. Возрастная динамика текущего прироста по средней высоте ( $Z_{Hср}$ ), среднему диаметру ( $Z_{Dср}$ ), 10-кратному объему среднего дерева ( $10*Z_{Vср}$ ) по одномоетровым ступеням средних высот в 100 летнем возрасте пихтовых древостоев горных лесов Северного Кавказа.

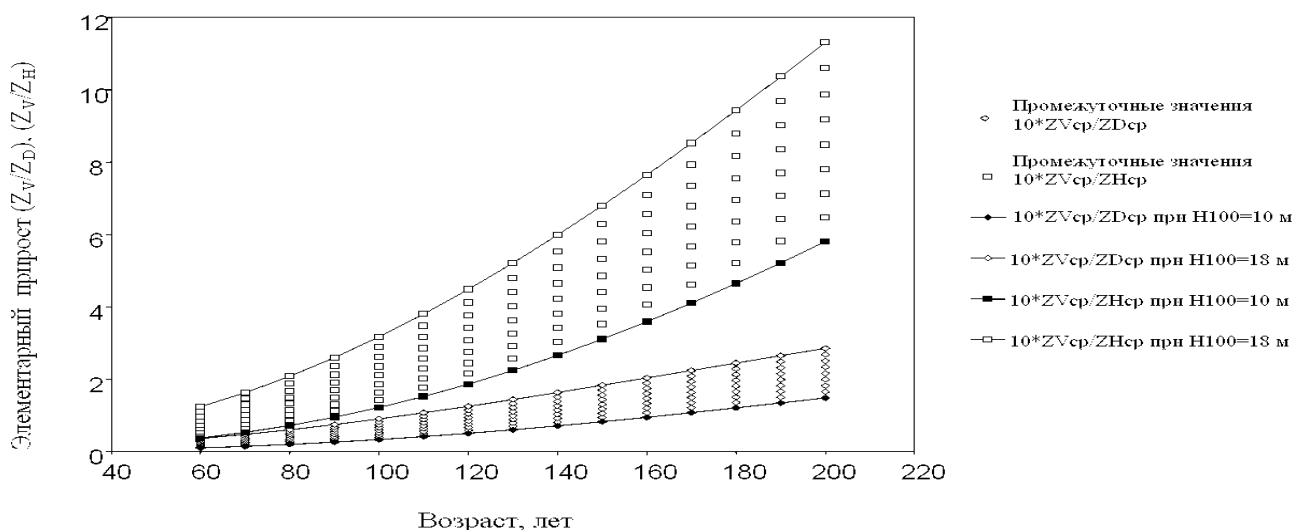


Рис. 4. Возрастная динамика элементарного прироста по средним значениям объема, диаметра, высоты деревьев по одномоетровым ступеням средних высот в 100-летнем возрасте пихтовых древостоев горных лесов Северного Кавказа.

Меньшая изменчивость соотношения  $Z_V/Z_D$  по сравнению с  $Z_V/Z_H$  дает основание при решении вопросов прогнозирования флуктуаций прироста использовать полученную модель (7) для перехода от линейных параметров прироста к объемным. Предложенные методические приемы перехода от линейных значений к объемным позволяют решать проблемы динамики продуктивности древесной растительности лесных насаждений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- В.В.Антанайтис, В.В.Загребев Прирост леса. – М.: Лесная промышленность, 1981.–199 с.  
В.К.Хлюстов Способ определения текущего прироста запаса стволовой древесины березового древостоя. А.С. 1665960 от 28.12.89 г.

## ИММУНОДИАГНОСТКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИГОРОДНЫХ СОСНЯКОВ КРАСНОЯРСКА В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Г.Г. ПОЛЯКОВА, В.И. ПОЛЯКОВ, Н.В. ПАШЕНОВА, В.В. СТАСОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

### АННОТАЦИЯ

В сосняках близ Красноярска сравнивали два метода оценки жизненного состояния древостоев: описательный и воздействия грибным патогеном. В 1 случае состояние древостоев оценивали по 6-бальной шкале санитарных правил в лесах РФ, как среднее значение баллов, присвоенных каждому из 200 деревьев на 4 пробных площадях (ПП). Во 2 – по размеру некротического пятна на лубе ствола 22-25 сосен на ПП после инъектирования экстрактом гриба *Ceratocystis laricicola* Redf. et Minter. В 1 случае состояние загрязненных и фоновых древостоев не различалось. Во 2 – различие было достоверным.

До сих пор не разработан относительно несложный количественный способ оценки устойчивости насаждений [2], которую иногда отождествляют с понятием состояние [1]. Глазомерная оценка состояния древостоя по различным шкалам не позволяет избежать субъективных суждений, а применение сложных аналитических методов не гарантирует обнаружения связи полученных показателей (биохимических физиологических и др.) с фактической жизнеспособностью деревьев и древостоев. Динамика биоиндикаторов (микробов ризо- и филосферы, мхов, лишайников и др.) также не всегда совпадает с изменением состояния древесного полога.

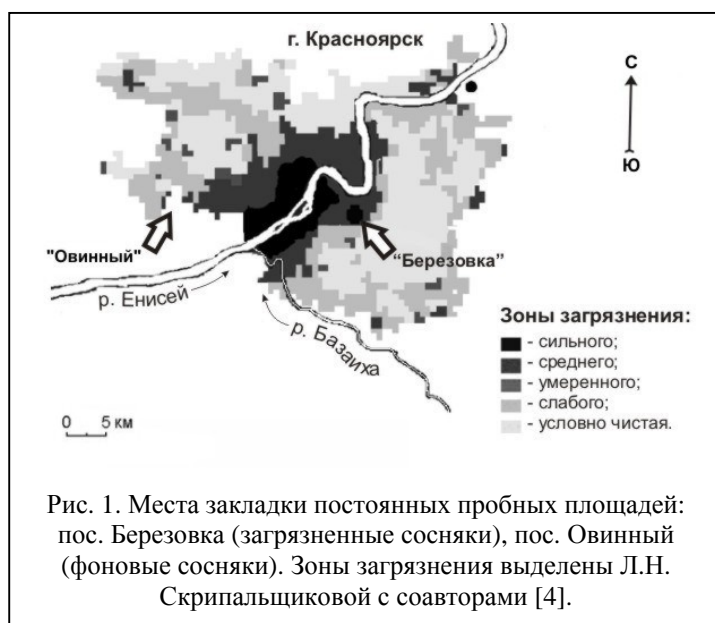
Перспективна разработка метода оценки устойчивости хвойных по их способности противостоять действию слабопатогенных офиостомовых грибов, экспериментально вносимых в проводящие ткани ствола [7]. Известно, что действие этих грибов, вызывающих синеву древесины хвойных, на ткани дерева вызывает иммунную реакцию, проявляющуюся в быстрой некротизации инфицированных клеток, накоплении в них смолистых и фенольных соединений, формировании изолирующей перидермы, калусообразовании [8-10]. Все эти процессы направлены на изоляцию патогена в пределах некроза и заживление повреждения. Размеры зоны реакции оценивают через 2-4 недели по величине темного эллиптического пятна в лубе ствола, хорошо заметного после удаления мертвой корки [9,10]. Грибные метаболиты представляются более привлекательным индуктором иммунного ответа по сравнению с живыми культурами патогена [7], поскольку при этом исключается риск распространения инфекции в насаждении. Несмотря на длительный период разработки в мировой практике метода инокуляции деревьев патогенами, для оценки устойчивости древостоев он не применялся.

Целью работы является проверка фитоиммунотормозящих свойств экстрактов офиостомового гриба *C. laricicola* и возможности использования этих веществ для оценки устойчивости сосновых насаждений в условиях промзагрязнения.

В соответствии с поставленной целью решались задачи, указанные ниже.

- Подбор древостоев главной породы пригородных лесов г. Красноярска – сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L) одинакового происхождения и строения, но различных по уровню загрязнения.
- Определение жизненного состояния древостоев традиционным путем – по 6-бальной шкале санитарных правил в лесах РФ [3] и по размеру пятен некроза на лубе ствола после дозированного воздействия экстрактом гриба *C. laricicola*.

Исследования проводили на 4-х постоянных пробных площадях (ПП) в пригородных средневозрастных сосняках разной степени загрязнения промвыбросами (рис. 1).



Работы по закладке и таксации ПП выполнены по ОСТ 16128-90 “Пробные площади лесоустроительные” с нумерацией каждого учетного дерева. ПП 1 и 2 характеризуют ослабленный промвыбросами Березовский бор, загрязненность которого детально изучена [4, 5]. ПП 3 и 4 представляют незагрязненные (фоновые) сосняки близ пос. Овинный. Различия в промзагрязненности пригородных лесов обусловлены преобладанием западных ветров.

Особое внимание при подборе участков для закладки ПП уделялось сходству древостоев по возрасту,

составу, полноте и другим таксационным показателям (табл. 1).

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев на ПП в 2003 г.

№ ПП	Состав древостоя	Полнота	Основной элемент леса	Категория состояния	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр на 1,3 м, см	Запас растущ. леса, м³/га	Запас сухостоя, м³/га	Густота, шт./га
1	10СП+СІ	1,4	СП	І,6	58	18,4	18,9	413	9	1640
2	9СП 1СІ ед.Б	1,5	СП	І,4	59	21,4	22,3	501	7	1260
3	9С 1Б ед.Л	1,5	С	І,3	63	21,4	20,7	488	8	1420
4	9С 1Л+Б	1,6	С	І,5	62	21,2	20,0	525	11	1650

Для характеристики состояния деревьев определяли их категорию. К I категории относятся деревья без признаков ослабления, II – ослабленные, III – сильно ослабленные, IV – усыхающие, V – сухостой текущего года и VI – сухостой прошлых лет. Категорию состояния древостоя устанавливали как средневзвешенную по объему стволов.

На каждой ПП инъецировали деревья сосны с №1 по №25, что обеспечивало примерно равную представленность деревьев разного размера и состояния. У этих деревьев в середине июля 2003 г в коре ствола на высоте 1,3 м пробивали отверстие диаметром 7 мм. В отверстие вносили 50 мкл раствора, содержащего 400 мкг экстракта из гриба *C. laricicola*. Минимально необходимое количество экстракта, способное вызывать защитную реакцию, определяли в предварительном опыте. Некрозы измеряли через 4 недели.

Достоверность различий оценивали по F критерию на уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Оценка категории состояния по 6-бальной шкале показала, что в худшем жизненном состоянии находится загрязненный древостой на ПП 1 (табл. 2) По своему состоянию он достоверно отличается от загрязненного древостоя на ПП 2 и от фоновых древостоев на ПП 3, но не отличается от фоновых древостоев на ПП 4. То есть, загрязненные и фоновые древостои сосны с помощью этого подхода разделить на две разные по экологической ситуации группы не удастся.

Размеры пятен на лубе сосны, вызванных внесением экстракта *C. laricicola*, в загрязненном боре достоверно превышали таковые в фоновых сосняках ( $F_{\text{факт.}} = 3,48 > F_{0,05} = 2,68$ , табл. 3, выделено полужирным шрифтом), что и позволило разделить эти древостои по их фактическому состоянию. Эффект увеличения размера некрозов при загрязнении не противоречит известной модели защитной реакции. Грибной мицелий, попав в дерево, проникает в его ткани [10]. Вторжение гриба обуславливает распространение в тканях растения грибных индукторов защитной реакции, направленной на локализацию патогена в

пределах некроза [6]. Следовательно, размер некроза, вызванного действием грибных экстрактов, должен обратно зависеть от активности защитного ответа дерева. Если предположить, что иммунитет сосны при загрязнении снижается, то длина некрозов, вызванных метаболитами гриба, в загрязненных древостоях должна быть больше, чем в фоновых. Именно это мы и наблюдали в опыте.

Таблица 2. Уровень значимости различий категорий жизненного состояния сосны на ПП

№ ПП	Степень загрязнения	Число деревьев	Категория состояния	ПП 1	ПП 2	ПП 3
ПП 1	загрязненный	246	I,6	–	–	–
ПП 2	загрязненный	183	I,4	<b>0,009</b>	–	–
ПП 3	фоновый	202	I,3	<b>0,000</b>	0,333	–
ПП 4	фоновый	232	I,5	0,060	0,459	0,091

Таблица 3. Уровень значимости различий длины некроза на лубе ствола сосны на ПП, вызванного экстрактом гриба *C. laricicola*

№ ПП	Степень загрязнения	Число деревьев	Длина некроза, мм	ПП 1	ПП 2	ПП 3
ПП 1	загрязненный	25	61,8	–	–	–
ПП 2	загрязненный	25	57,9	0,593	–	–
ПП 3	фоновый	22	45,3	<b>0,018</b>	<b>0,035</b>	–
ПП 4	фоновый	22	44,5	<b>0,016</b>	<b>0,030</b>	0,884

Таким образом, средний размер некроза оказался более эффективным диагностическим признаком жизненного состояния древостоя по сравнению с его категорией.

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ и ККФН по гранту 03-04-96126 2003 г.

## ЛИТЕРАТУРА

- Абатуров А. В. Возрастная структура и состояние лесов ближнего Подмосковья // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: Матер. 5-й межд. конф., Москва. М.: 2002. С. 13-16.
- Рожков А. А. Оценка устойчивости и состояния лесов // Лесоведение, 2003, 1. С.66-72.
- Санитарные правила в лесах Российской Федерации // Лесное законодательство Российской Федерации. Сборник нормативных правовых актов. М.: ПАИМС. 1998. С. 310-329.
- Скрипальщикова Л.Н., Харук В.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Грешилова Н.В. Экологический мониторинг техногенных ландшафтов на основе наземных и дистанционных данных // География и природные ресурсы, 2002, 3. С. 31-34.
- Татаринцев А.И., Скрипальщикова Л.Н. Сосновые фитоценозы в зоне многолетнего воздействия антропогенных нагрузок // География и природные ресурсы, 2003, 3. С. 53-56.
- Darvill A.G., Albersheim P. Phytoalexins and their elicitors – a defense against microbial infection in plants // Annu. Rev. Plant Physiol. 1984. V.35. P. 243-275.
- Polyakova G.G., Pashanova N.V., Vetrova V.P., Stasova V.V., Zrazevskaya G.K., Shein I.V., Konstantinov M.Yu. Perspectives of using blue stain fungi for assessment of conifer tree vigor and resistance to insects-vectors and associated pathogens // New Horizon of bioscience in forest products field. Cheongju, Korea: Chungbuk Nat. Univ, 2000. P. 26-42.
- Primoz O. Odziv drevesnih tkiv na poskodbe in infekcijo. 2. Kambijeva cona // Zb. gozd. in les, 1999, 58: 189-217.
- Reid R.W., Whitney H.S., Watson J.A. Reactions of lodgepole pine to attack by *Dendroctonus ponderosae* Hopkins and blue stain fungi // Can. J. Bot., 1967, 45: 1115-1126.
- Wong B.L., Berryman A.A. Host resistance to the engraver beetle. 3. Lesion development and containment of infection resistant *Abies grandis* inoculated with *Trichosporium symbioticum* // Can. J. Bot., 1977, 55: 1358-1365.