

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

На правах рукописи
УДК 502.05: 630⁴561 24

ХАНТЕМИРОВ
Рашит Мигатович

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГОДИЧНЫХ СЛОЯХ
ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОВЫКНОВЕННОЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В РЕТРОСПЕКТИВНОЙ БИОИНДИКАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

03.00.16 - Экология



Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

СВЕРДЛОВСК

1991

Работа выполнена в лаборатории дендрохронологии Института
экологии растений и животных Уральского отделения АН СССР

Научные руководители: доктор биологических наук

ШИЯТОВ С.Г.

кандидат биологических наук

САДЫКОВ О.Ф.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук

МАХНЕВ А.К.

доктор биологических наук

ВАГАНОВ Е.А.

Ведущая организация

Уральский лесотехнический институт
им. Ленинского комсомола.

Защита состоится "28. 04. 1990" г. на засе-
дании специализированного совета Д 002.05.01 по защите диссер-
тации на соискание ученой степени доктора наук при Институте
экологии растений и животных Уральского отделения АН СССР по
адресу: 620219, Свердловск, ГСП-511, ул. 8 Марта, 202.

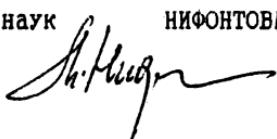
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
экологии растений и животных Уральского отделения АН СССР.

Автореферат разослан " _____" 1991 г.

Ученый секретарь специализированного

совета, кандидат биологических наук

НИФОНТОВА М.Г



Актуальность темы. Для изучения изменений в окружающей среде широкое распространение получил биоиндикационный подход. Он позволяет оценить естественные и антропогенные воздействия на среду обитания в показателях, имеющих биологический смысл. Биоиндикаторы дают интегральную картину влияния различных факторов на биологические системы. Кроме того, биологическая составляющая является самым чувствительным компонентом экосистем. В частности, благодаря эффекту накопления загрязнений.

В многочисленных публикациях в этой области основное внимание уделяется вопросам актуальной биоиндикации. Но часто возникает необходимость проведения ретроспективной биоиндикации. Важность этого направления определяется тем, что на ее основе можно реализовать ретроспективную экологическую экспертизу, более точно проводить экологическое нормирование антропогенных воздействий, которое будет в состоянии учитывать долгосрочные кумулятивные эффекты.

Для целей ретроспективной биоиндикации наиболее перспективен дендрохронологический метод, т.е. анализ изменчивости показателей радиального прироста древесины. В связи с техногенным загрязнением среды токсичными веществами особый интерес вызывает использование одной из модификаций дендрохронологического метода послойного определения элементного состава древесины.

Целью исследования являлось изучение закономерностей распределения химических элементов в годичных слоях древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), произрастающей в местообитаниях с различным уровнем техногенного загрязнения и разработка рекомендаций для использования этого показателя в ретроспективной биоиндикации.

Основные задачи исследования:

1. Определить характерные кривые распределения некоторых химических элементов в слоях прироста древесины сосны.
2. Оценить индивидуальную изменчивость деревьев по интенсивности накопления химических элементов в древесине ствола.
3. Оценить влияние факторов внешней среды на содержание химических элементов в годичных слоях сосны обыкновенной.
4. Разработать метод стандартизации первичных данных, исключающий влияние индивидуальных различий деревьев и различной физиологической активности разных участков древесины ствола.

Научная новизна

а) Выявлены закономерности распределения металлов в годичных слоях древесины сосны обыкновенной. Содержание K, Mg в значительной степени определяется их физиологическими функциями в древесине, а на содержание Mn, Zn, Al, Fe, Cu оказывают влияние физиологические процессы в древесине и уровень загрязнения среды в год формирования данного годичного слоя.

б) Показана зависимость содержания потенциально токсичных микроэлементов в древесине сосны от фитоценотического положения дерева (степени развития кроны, господствования).

в) Предложен новый подход к стандартизации первичных данных о накоплении микроэлементов в древесине, который позволяет получать показатели, пригодные для использования в ретроспективной индикации интенсивности загрязнения среды.

Практическая значимость работы.

1. Стандартизованные данные о содержании токсичных элементов в годичных слоях древесины сосны могут быть использованы для индикации уровней загрязнения среды в прошлом.

2. На основе полученных результатов можно более точно оценивать накопление химических элементов в строах деревьев

при исследовании кругооборота веществ в биогеоценозах.

3. Полученные данные могут найти применение в древесино-ведении и деревообработке.

Проблемы работы. Результаты исследования были представлены на конференции "Охрана окружающей среды и рациональное использование ресурсов" в Новополоцке (апрель 1989 г.), работа обсуждалась на региональных конференциях молодых ученых в Уфе (май 1989 г.) и Свердловске (ноябрь 1989 г.); на V Всесоюзной конференции по проблемам дендрохронологии и дендроклиматологии в Свердловске (май 1990 г.) и Международном совещании "Древесные кольца и окружающая среда" в Истаде (Швеция) в сентябре 1990 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы (103 наименования, из них 63 на иностранных языках) и приложения. Общий объем диссертации 153 страниц, из них 118 машинописного текста, 26 иллюстраций и 9 таблиц.

Глава 1. ОВЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Литература по вопросу использования химических элементов в древесных кольцах для ретроспективной индикации насчитывает более сотни работ. Около 60 публикаций, отражающих главные направления исследований, рассмотрены в обзоре.

Авторы почти всех исследований считают, что содержание химических элементов в годичных слоях древесины отражает его содержание в среде в годы формирования этого слоя. Несмотря на недостаточное количество экспериментальных данных и нерешенность многих физиологических вопросов, имеется немало работ, в

которых авторы пытаются использовать элементный состав древесных слоев для индикации времени и интенсивности техногенного загрязнения. Такие исследования проводились в придорожных на- саждениях (Rölfe, 1974; Kardell, Larsson, 1978; Dutot, Faucherre, 1979; Baes, Ragsdale, 1981; Wickern u. Breckle, 1983; Nedialkov et al., 1986), вблизи точечных источников эмиссий (Robitaille, 1981; Guyette, McGinnes, 1987; Bowers, Melhuish, 1988; Agr, Manasc, 1988). Ряд исследований проведен в районах, удаленных от источников загрязнения (Четвериков, 1982, 1986; Baes, McLaughlin, 1984; Braker et al., 1985; Berish, Ragsdale, 1985; Meisch et al. 1986; Hall, 1987). Но, за редким исключением (Bondietti et al., 1989; Momoshima, Bondietti, 1990), отсутствуют работы, где бы обсуждались особенности распределения элементов в годичных слоях, обусловленные физиологическими процессами в древесине. Практически не учитывается вклад в общее содержание той части элементов, которая находится в ксилемном соке, живых клетках древесины, не учитывается и возможность выведения ранее фиксированных в клеточных стенках элементов потоком ксилемного сока. Недостаточно внимания уделяется изучению индивидуальной изменчивости содержания химических элементов в древесных слоях.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.

Исследования проводились в окрестностях г. Красноуральска (Свердловская обл.). По схеме лесорастительного районирования Колесникова и др. (1973) эта территория приурочена к западно-сибирской равнинной лесорастительной области, Зауральской холмисто-предгорной провинции, южнотаежному округу.

Господствующий ландшафт в этом районе - чередующиеся сла-

бо возвышенные участки и плоские неглубокие, нередко заселенные депрессии. Абсолютные отметки высот составляют 160-240 м. Климатические условия благоприятны для произрастания таежных лесов средней производительности.

Средняя температура воздуха за год равна 0°С. Вегетационный период со средней температурой воздуха 12°С длится 153 дня. В среднем в год выпадает 460 мм осадков.

Господствующие формации - сосновые, сосново-еловые и полидоминантные темнохвойные. В производных лесах основным лесообразователем выступает береза, реже осина. По производительности леса со свежими почвами - II-III бонитетов, влажными и сырыми - IV-V бонитетов. Почвы суглинистые дерново-подзолистые на суглинистом элювии-делювии горных пород.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа была частью комплексных биогеоценологических исследований, начатых в 1987 г. в окрестностях Красноуральского медеплавильного комбината (КМК).

Красноуральский медеплавильный комбинат. Первая очередь комбината официально была пущена в 1932 г. Поскольку данные о выбросах вредных веществ КМК за 1932-1976 гг. отсутствуют, о примерном их объеме можно судить по косвенным данным.

С 1934 г. началась резкая интенсификация производства. В 1936 г. проектная мощность по выплавке меди была превышена на 10%, в 1941 г. почти в 2 раза, а за 40 послевоенных лет объем валовой продукции, по сравнению с предвоенным уровнем, вырос в 10 раз. В 1941 г. пустили сернокислотный цех, что уменьшило выбросы сернистого газа. В 1954 г. начало развиваться производство фосфорных удобрений, в связи с чем начался выброс фто-

ристых соединений. В 1965 г. произошло расширение сернокислотного цеха и очередное снижение выбросов сернистого газа. Самая большая реконструкция, проведенная в 1971-1973 гг., привела к значительному снижению объема выбросов вредных веществ. В 1977-1980 гг. проведен очередной этап реконструкции в сернокислотном производстве.

В составе выбросов комбината присутствуют SO_2 (74 тыс. т в 1987 г.), фтористые соединения (790 т), CO_2 (1000 т), твердые частицы (7 250 т).

Характеристика пробных площадей и модельных деревьев.

Пробные площади (ПП) по 0.5 га были заложены по общепринятым методикам в двух направлениях от источника выбросов на север и юг. Контрольную пробу заложили в 32 км на юго-запад от КМК (рис. 1). На пробах был произведен полный учет деревьев, сделаны геоботанические описания. На каждой пробной площади закладывали почвенный разрез, из всех горизонтов взяты образцы почв для определения рН солевой вытяжки. На всех пробных площадях (в основном это сосновки разнотравные, кроме ПП С-8 ельник кисличниковый и контрольной ПП сосняк ягодниковый) доминирующим видом была сосна обыкновенная. Бонитет насаждений

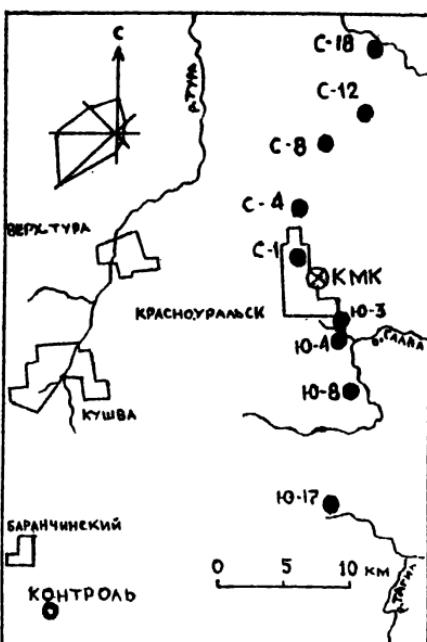


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей (буква означает направление, цифра - расстояние до КМК).

в основном II, полнота в среднем 0,6-0,8, средний возраст 80-120 лет. Почвы дерново-подзолистые, тяжелосуглинистые

Кроме того, на разных расстояниях от КМК в марте 1987 г. были собраны для химического анализа образцы снега. Выявлено, что выпадение нерастворимых форм металлов снижается от источника выбросов в логарифмической зависимости (так, выпадение нерастворимых форм меди около комбината более 1000 мг/м²/год, а на удалении 15 км - 10 мг/м²/год), выпадение водорастворимых форм снижается линейно (для меди - от 70 мг/м²/год около КМК до 20 мг/м²/год на 15 км).

Для химического анализа на каждой пробной площади отбирали по 2-10 деревьев, занимающих господствующее положение в древостое, у которых в июле и, в основном, в октябре 1987 г. 10-мм приростным буром на высоте 0,7-1,3 м брали по 6-12 кернов с каждого дерева. На контрольной площади образцы древесины взяты в октябре 1988 г. Почти все 30 модельных деревьев были I класса роста, в возрасте от 70 до 170 лет (в среднем 90-120), высотой от 18 до 28 м (в среднем 20-25), 34-72 см в диаметре (в среднем 45-55). На пробной площади С-4 у 13 модельных деревьев в марте 1989 г. для химического анализа взяты образцы хвои 1-5 года с нижней части кроны.

Подготовка образцов для химического анализа.

Снег. Образцы снега после ставания фильтровали через лавсановый фильтр с диаметром пор 4 нм. Осаждение металлов из фильтрата в форме комплексонов проводили по методике Веверис и др. (1974), и затем повторно фильтровали таким же образом. Фильтры с пылью заливали 1 н азотной кислотой на 24 часа, а фильтры с комплексонами металлов на 5 минут. После этого растворы сливали и анализировали.

Хвоя. После разделения по годам и высушивания при комнат-

ной температуре хвою промывали в хлороформе для удаления поверхностного загрязнения, затем высушивали в течении 16 часов при температуре 65°С. Мокрое озоление проводили в концентрированной азотной кислоте при нагревании. Всего было подготовлено 50 образцов хвои.

Древесина. Керны древесины высушивали при комнатной температуре. Для удаления поверхностного загрязнения лезвием безопасной бритвы срезали верхний слой керна. Затем, после точной датировки годичных слоев древесины, каждый керн делили на части, содержащие по 5 годичных слоев. Соответствующие слои с одного дерева объединяли в одну пробу для получения навески в 1-2 г (обычно для этого требовалось объединить слои с 5-12 кернов). В некоторых случаях, когда центральные кольца были очень узкими, образцы содержали по 10 годичных слоев. Периферийные образцы содержали 2-3 слоя (1986-87 или 1986-88 гг.). Всего было подготовлено около 500 образцов древесины, по 13-30 образцов на одно дерево. Озоление проводили так же, как для хвои.

Методы анализа содержания химических элементов. Анализы содержания Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Pb, Re, Si, Sn, Ti, V, W, Zr и в некоторых образцах Zn проводились методом эмиссионного спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой на приборе "Labtest" (ФРГ) на Опытном заводе Института редких металлов Минцветмета СССР в г. Верхняя Пышма. В большинстве образцов Zn и в некоторых Cu определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе "Perkin Elmer 403" (США) в Институте электрохимии УрО АН СССР. Часть образцов анализировалась на содержание K и Zn методом атомной абсорбции на приборе AAS-3 (ГДР) в ИЭРИИ УрО АН СССР. Всего этими методами было проведено около 15 тысяч элементоопределений.

ГЛАВА 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ГОДИЧНЫХ СЛОЯХ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Обнаруженные концентрации химических элементов в годичных слоях отражают, по-видимому, содержание элементов на клеточных стенках трахеид, где они связаны с полимерами уроновой кислоты (пектиновыми веществами). Saka, Goring, (1983) показали, что наибольшие концентрации катионов в древесине приходятся на срединную пластинку, торус и другие структуры. Вторичная стена трахеид содержит меньшие концентрации, но за счет своей большей доли в древесине определяет основное количество катионов. Прочность связи элементов с клеточной стенкой не равнозначна для разных ионов, она возрастает с увеличением валентности, а в связывании двухвалентных металлов клеточной оболочкой установлен ряд прочности $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (Terfer, Taylor, 1981), для щелочноземельных элементов $\text{Ca} > \text{Mg}$ (Bondietti et al. 1989).

Однако следует отметить, что в общий уровень содержания химических элементов в стволе деревьев вносят вклад как живые клетки древесины, в которых эти элементы могут находиться в подвижной форме, особенно K, Mg, Zn, так и ксилемный сок. Следует также учитывать, что проводящие годичные слои древесины можно рассматривать как ионообменные колонки (Кларксон, 1978; Bondietti et al. 1989), поэтому содержание катионов (особенно Mg, Mn, Zn) в них будет изменяться тем больше, чем активнее эти слои участвуют в процессах транспорта ксилемного сока.

Для удобства обсуждения вопроса о пригодности металлов для ретроспективной индикации они были условно разделены на макро- (K, Ca, Mg) и микроэлементы (Mn, Zn, Al, Cu, Fe, Ni).

4.1. Макроэлементы.

Калий. Благодаря подвижности калия значительная доля его содержания в древесном стволе (до половины от общего количества) приходится на живые клетки заболони и ксилемный сок (Bondietti et al., 1989). Поскольку концентрация живых клеток увеличивается от центра к периферии и транспирационный поток осуществляется в основном по периферийным кольцам, то, по-видимому, именно этими причинами можно объяснить выявленное распределение калия в годичных слоях сосны обыкновенной (рис. 2) резкое увеличение концентрации калия (в 2-6 раз) в заболони по сравнению с ядерной древесиной. Поэтому использование содержания калия в слоях древесины для ретроспективной индикации весьма проблематично. Об этом же свидетельствуют данные работ Brownridge (1984), Kohno et al. (1988), Tout et al. (1977), показавших на разных видах деревьев, что распределение K в годичных слоях отражает скорее физиологические процессы, чем время, когда этот элемент поступил в дерево.

Кальций. В исследованных деревьях концентрация Ca имеет тенденцию к снижению от центра к периферии ствола (рис. 2). Возможные причины такого распределения могут быть объяснены как внутренними механизмами, так и изменениями во внешней среде. Специально изучавшие этот вопрос Momeshima, Bondietti (1990) показали, что в древесине ствола ели красной (*Picea rubens*) концентрация мест связывания катионов уменьшается от центра к периферии. Agr, Manasc (1988) предположили, что с возрастом изменяется жизненность дерева и в связи с этим изменяются процессы поглощения ионов - в частности, уменьшается поглощение кальция. Другой возможной причиной может быть наличие в древесине живых клеток, в которых содержание кальция с

возрастом увеличивается и поэтому в старых клетках его больше. Уменьшение содержания Са в более молодой древесине можно также объяснить и снижением его доступности в почве из-за большого поглощения деревом или из-за естественного выщелачивания из почв. В пользу предположения о снижении концентрации доступно-

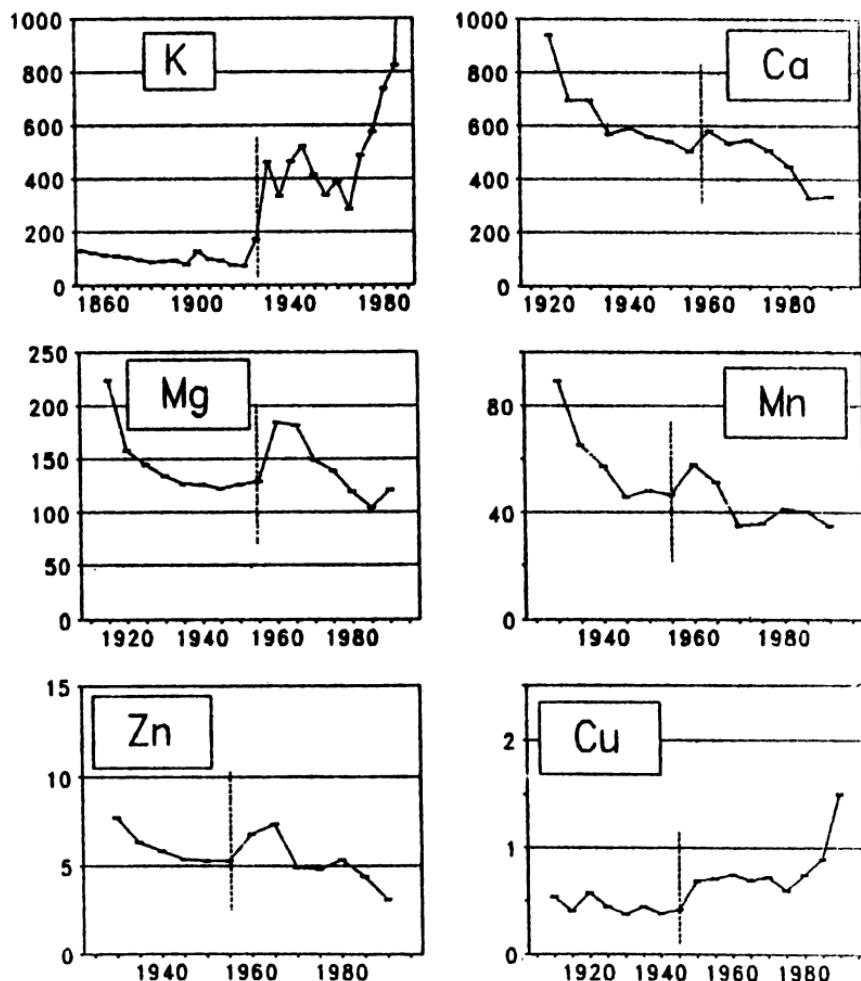


Рис. 2. Типичные случаи распределения химических элементов (мкг/г сух. веса) в слоях прироста древесины сосен, не испытывающих влияния загрязнения. Вертикальной линией отмечена граница между ядром и заболонью.

го кальция говорит и его распределение в стволе сосны, растущей в городском парке г. Красноуральска после известкования почвы концентрация Ca в заболонной древесине увеличилась.

В ряде статей (Агр, Manasc, 1988; Bondietti et al., 1989; и др.) авторы предполагают, что снижение содержания Ca в древесине может быть вызвано выщелачиванием его из почвы при загрязнении кислотными осадками. Известно также (Clarkson, Sanderson, 1971), что при большой концентрации ионов Al в прикорневой зоне растений, что может быть следствием того же загрязнения почв, снижается поглощение Ca. В нашем случае эти, а также другие, связанные с загрязнением среды, объяснения вряд ли подходят, так как различий в распределении Ca в древесине сосен, подверженных разной степени нагрузки, не обнаружено.

Магний. Распределение магния аналогично распределению кальция (рис. 2) - почти такое же уменьшение концентраций от центра к периферии ствола. Возможные объяснения, по-видимому, можно привести те же.

Особенность в распределении магния - повышение концентраций на границе ядра и заболони. Известно (Лайранд, 1970), что в этой зоне древесины у сосны обыкновенной происходит всплеск физиологической активности, приводящий к накоплению различных буроокрашенных веществ. Магний, участвующий в цикле жирных кислот, цикле Кребса, необходим при синтезе ядерных веществ. Вероятно этим объясняется усиленное поступление магния на границу ядра и заболони.

Увеличение концентрации Mg в зоне образования ядерных веществ у разных исследованных деревьев выражено в различной степени, в то время как в других слоях прироста содержание Mg было примерно одинаковым у всех деревьев. На основании полученных результатов трудно определить факторы, влияющие на

концентрацию Mg в области границы ядра и заболони. Во всяком случае можно утверждать, что ни возраст дерева или его класс роста, ни уровень загрязнения не определяют этой величины.

Повышенное содержание магния в самых периферийных древесных кольцах можно отнести за счет большей, по сравнению с кальцием, долей магния в молодых живых клетках древесины или же радиальным перемещением его из флоэмного сока, где концентрация магния выше, чем в ксилемном.

В целом можно заключить, что макроэлементы оказались не пригодны для индикации уровней загрязнения в прошлом. В случае калия и магния этот вывод можно, по-видимому, распространить на все возможные ситуации, т.к. их общие концентрации в древесине во многом обусловлены подвижными формами этих элементов. Кальций не проявил индикационных возможностей, вероятно, потому, что техногенные изменения в районе исследований не оказывали влияния на естественную динамику кальция в почве. Вопрос, отражают ли полученные кривые содержания кальция в древесине эту естественную динамику, остается открытым.

Причины, ограничивающие возможность использования калия в слоях древесины для ретроспективной индикации, определяют также неподходящесть использования в этих целях отношения K/Ca , предлагаемого в некоторых работах в качестве универсального показателя условий среды в прошлом.

4.2. Микроэлементы.

Обсуждаемые ниже металлы считаются потенциально токсичными. Известно, что растения могут ослаблять действие избыточных концентраций токсичных металлов, переводя их в нерастворимые соединения.

мую форму в запасающих тканях. У древесных растений эту роль может выполнять древесина ствола. На клеточном уровне таким резервом многие исследователи считают клеточную оболочку. Поэтому можно допустить, что уровни потенциально токсичных металлов в клеточных стенках трахеид отражают уровень их избыточного поступления в годы формирования древесного слоя. Но общие концентрации микроэлементов в древесине, полученные в данной работе, могут включать в себя и подвижные формы.

Марганец. Форма кривой распределения Mn в древесных кольцах аналогична Mg (рис. 2), что, по-видимому, связано со сходными функциями, выполняемыми этими элементами в древесине. Уровни содержания Mn различны у разных деревьев, но этот показатель не зависит от расстояния до источника загрязнения, возраста или класса роста дерева. Вероятно, он определяется локальными почвенными условиями.

Другая особенность в распределении Mn - повышенные концентрации в заболонных слоях у некоторых деревьев. Такое распределение чаще встречается у сосен, растущих вблизи комбината. Это можно объяснить выбросами предприятия, содержащими и соединения марганца. Другая возможная причина подкисление почв, вызванное выбросами сернистого газа, которое могло привести к увеличению подвижности Mn в почве. Однако, трудно однозначно ответить, является ли это результатом повышенного накопления элемента в год формирования кольца или же это результат повышенного содержания Mn в ксилемном соке, живых клетках и т.д. за счет современного поступления марганца.

Цинк. На больших расстояниях от комбината (более 15 км) форма распределения цинка напоминает распределение Mg и Mn (рис. 2). Это, по видимому, также связано с некоторым сходством их функций в стволе деревьев. Но содержание цинка зави-

сит и от уровня техногенной нагрузки. Причем повышенные концентрации наблюдаются только в древесных слоях, сформированных после начала работы комбината (рис. 3). Это коррелирует с градиентом выпадения цинка в окрестностях комбината, выявлением на основе анализов накопления Zn в снеге.

В отношении этого элемента, пожалуй, можно рассуждать о пригодности его для индикации. Однако некоторые особенности распределения цинка, в первую очередь повышенные уровни в районе границы ядра и заболони, а также недостаточно прочные, по сравнению с другими микроэлементами, связи с клеточными стенками усложняют эту задачу.

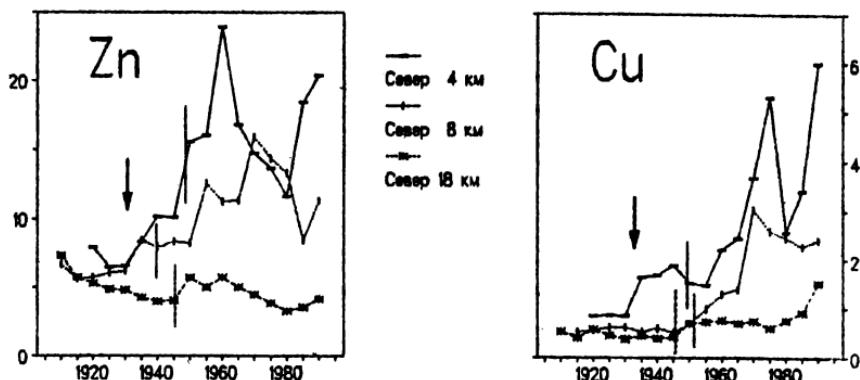


РИС. 3. Примеры содержания цинка и меди (мкг/г. сух. веса) в годичных слоях некоторых деревьев сосны обыкновенной, растущих на различных расстояниях от медеплавильного комбината. Вертикальными линиями отмечены границы ядра и заболони, стрелка указывает на год начала работы КМК.

Медь. По всей вероятности, загрязнение медью в районе исследований имеет наибольшее значение для сосны, по сравнению с другими металлами, т.к. доля водорастворимых форм этого элемента в выпадениях вокруг комбината выше, и можно ожидать, что избыточное количество меди будет депонироваться в древесине.

Распределение Cu, а также Al, Fe, Ni, в древесных кольцах сосны отличается от распределения рассмотренных выше металлов

(рис. 2). Если отвлечься от деталей, то можно считать, что в чистых зонах содержание Си примерно одинаково во всех годичных слоях. Видимо это свидетельствует о его стабильном поступлении в дерево в естественных условиях. Некоторое повышение содержания меди в заболони и особенно в самых периферийных кольцах связано, по-видимому, с большей долей подвижных или слабо фиксированных соединений меди в этих слоях.

Из рис. 3 хорошо видно, что содержание меди в слоях, сформированных после начала работы комбината, растет по мере уменьшения расстояния до источника загрязнений. Уровень содержания меди в древесине, сформированной до 1932 года; на разных пробных площадях немного различается, что может быть связано с различным исходным уровнем меди в почве. Увеличение концентрации меди в древесине объясняется скорее всего выбросами КМК, содержащими соединения меди. Однако нельзя полностью исключить и увеличение доли подвижных форм Си в почве из-за возможного снижения pH почвы или влияния других техногенных факторов.

Т.о., данные о содержании меди в слоях древесины оказались наиболее пригодными для реконструкции загрязнения среды, но их использование возможно лишь в том случае, когда удастся оценить долю подвижных форм элемента.

Алюминий. Особенности распределения этого элемента такие же, как у меди, включая увеличение его содержания у деревьев вблизи завода, которое, однако, выражено не у всех деревьев.

В составе загрязнителей в данном районе не значится алюминий, поэтому его увеличение в древесных кольцах можно было бы объяснить закислением почв вследствие выбросов комбинатом сернистого газа. Но измерения pH снега и почвы не показали какого-либо роста кислотности почв вблизи предприятия. Остается лишь предположить, что закисление происходит только в приство-

ловой зоне дерева из-за кислотного стока по стволу (образцы почв брались по возможности на открытых участках).

Другое возможное объяснение - загрязнения почв фторидами, входящими в состав выбросов комбината. Показано (Морошина, Гапонюк, 1989), что внесение фторида натрия в дерново-подзолистую почву приводит к трансформации гидроокислов Al и увеличению концентрации ионного Al в фазе раствора. То же самое справедливо и для Fe.

Т.о., использование алюминия для ретроспективной индикации можно считать в принципе возможным, тем более, что потенциально его содержание отражает не только загрязнение металлами, но и широко распространенное закисление почв. Однако и в этом случае остается вопрос о доле подвижных форм алюминия в древесине, главным образом в периферийных колышах.

Железо. Закономерности распределения железа аналогичны распределениям Cu и Al. В отличии от этих двух металлов содержание железа на границе ядра и заболони изменяется более существенно. Возможные объяснения, вероятно, те же, что и для Al. Однако то, что железо обнаружено не во всех деревьях, а в некоторых деревьях не во всех слоях древесины, заставляет с осторожностью подходить к заключению о возможности использования этого элемента в слоях древесины для индикации.

Другие элементы. Кроме рассмотренных выше металлов, был проведен анализ содержания Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Re, Si, Sn, Ti, V, W и Zr. Однако методом спектроскопии с индуктивно связанный плазмой не удалось обнаружить Mo, Ti, V, Zr. Другие элементы определены лишь в отдельных слоях древесины в концентрациях, близких к пределу обнаружения данным методом. Ni обнаружен во всех слоях, но с высокой ошибкой определения. Результаты анализов указывают на то, что закономерности распределения Ni, по

всей вероятности, сходны с таковыми для Cu.

В целом, содержание микроэлементов в слоях прироста древесины сосны обыкновенной оказалось более подходящим для использования в ретроспективной индикации. Это, по всей видимости, связано как с химическими свойствами данных элементов, образующих прочные связи с пектиновыми веществами клеточных стенок трахеид, так и с увеличением доступности рассмотренных металлов для растений из-за их поступления с выбросами медеплавильного комбината, возможного уменьшения pH почвы или других причин, связанных с техногенными воздействиями.

ГЛАВА 5. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В СОДЕРЖАНИИ МЕТАЛЛОВ В ГОДИЧНЫХ СЛОЯХ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОВЫКНОВЕННОЙ.

Индивидуальные различия в содержании некоторых металлов изучались на основе результатов химического анализа годичных слоев древесины 10 сосен, растущих на пробной площади С-1 у деревьев №№ 5, 6 и 30 анализировались все годичные слои, у остальных - только несколько периферийных заболонных слоев.

Результаты анализов содержания меди в слоях древесины показаны на рис. 4. Чтобы попытаться объяснить эти различия, удобно сначала систематизировать деревья по некоторым их характеристикам (цифры соответствуют номерам деревьев):

по высоте: 30 > 17 > 29 = 14 > 21 = 2 > 25 = 5 > 6 > 1;

по диаметру: 5 = 6 > 30 > 25 > 29 > 21 > 2 > 17 > 14 = 1;

по возрасту: 5 > 6 = 25 > 29 = 30 > 17 = 21 > 14 > 1 = 2;

по классу повреждения: 14 < 1=2=6=17=21=30 < 5=25=29.

Классификация по степени развития кроны (на основе визуального анализа) соответствует классификации по диаметру, но наиболее развитая крона у дерева № 30.

Сопоставляя эти ряды с результатами анализов, можно видеть, что содержание Cu в древесных слоях выше у деревьев с более развитой кроной, господствующих. Не обнаружена связь уровня содержания меди в годичных слоях с возрастом дерева.

Примерно такие же закономерности наблюдаются в распределении Fe, Al, Zn и Cr.

Возможная причина различий в содержании Mn в годичных слоях сосны обыкновенной упоминалась в главе 4. Не обнаружено существенных индивидуальных отличий для Ca и Mg. Содержание

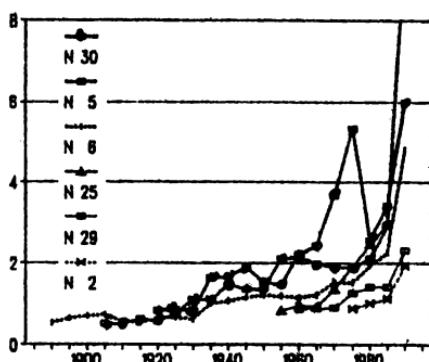


Рис. 4. Содержание меди (в мкг/г сух., веса) в годичных слоях древесины сосны обыкновенной на пробной площади С-4. Концентрации Cu у деревьев №№ 17 и 21 практически равны № 29, а №№ 1 и 14 весьма близки № 2.

калия на этой пробной площади было определено в годичных слоях лишь одного дерева.

Не выявлено соответствия между содержанием металлов в хвое и слоях древесины. Поэтому нельзя сделать вывод о том, что более высокое содержание микроэлементов в древесине развитых сосен обусловлено их лучшим минеральным питанием. Эти данные свидетельствуют, что причины, определяющие уровень микроэлементов в хвое и древесине, разные.

В литературе имеются указания на различия в накоплении

химических элементов в слоях древесины в зависимости от возраста дерева (Meisch et al. 1986a, 1986b; Agr, Manas, 1988). Можно предположить, что более молодые деревья, изучавшиеся в этих работах, были более угнетенными и выявленные различия отражают скорее класс роста, тем более, что об этом косвенно упоминают авторы. В таком случае можно считать, что результаты этих работ в некоторой степени подтверждают выводы относительно большего накопления микроэлементов в слоях древесины более развитых деревьев.

Обсуждая возможные причины выявленных различий, можно сослаться на работу Stark et al. (1984), которые показали, что в ксилемном соке *Pseudotsuga menziesii* содержание Ca, Mg, K у молодых деревьев выше, в то время как концентрации Al, Fe, Cu, Zn оставались постоянными независимо от возраста дерева. Авторы замечают, что речь в данном случае должна идти не столько о возрасте дерева, сколько о его жизненности, изменение которой приводит к изменениям в энергозатратных процессах селективного поглощения ионов. Основываясь на данных этой работы можно предположить, что изменение соотношения металлов в ксилемном соке может привести к тому, что из-за более низких концентраций макроэлементов увеличивается вероятность занять места связывания катионов в клеточных стенках микроэлементами, что должно привести к увеличению их содержания в слоях древесины.

ГЛАВА 6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В ГОДИЧНЫХ СЛОЯХ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.

В предыдущих главах был сделан вывод о том, что использование для ретроспективной индикации первичных данных о содержании металлов в годичных слоях сосны не совсем правильно.

т.к. все металлы имеют свои особенности распределения в слоях древесины и по разному накапливаются в различных деревьях. Для получения более достоверных оценок загрязнения среды в прошлом необходимо учесть долю подвижных форм этих элементов в годичных слоях, разные исходные уровни металла в древесине и попытаться исключить влияние этих факторов.

Попытка стандартизации исходных данных была предпринята для меди. Процедура стандартизации состояла из двух этапов, которые проиллюстрированы на рис. 5:

1. Оценка доли прочно фиксированных в древесине форм меди основывалась на двух предположениях: 1) в ядерной древесине вся медь представлена только в фиксированной форме и 2) на "чистых" пробных площадях не имелось никаких тенденций в изменении содержания меди в окружающей среде, и, следовательно, содержания фиксированных форм в древесине.

На основе кривых распределения меди в годичных слоях древесины на "чистых" пробных площадях было эмпирически выявлено, что для уравнивания среднего содержания меди в ядре и заболони необходимо умножить каждое значение содержания меди на определ-

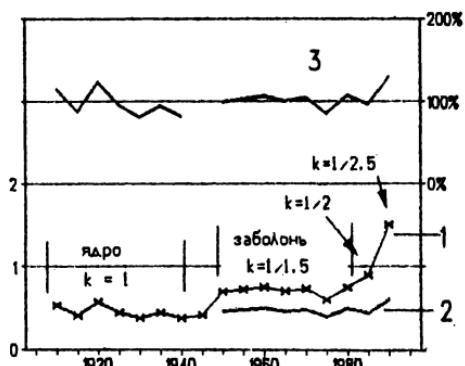


Рис. 5. Пример процедуры стандартизации. 1 - концентрация элемента в годичных слоях древесины; 2 - пересчетные значения; 3 - индексы накопления меди; k - коэффициент пересчета.

данный коэффициент (рис. 5).

Предполагая, что полученные коэффициенты должны быть универсальными, подобный пересчет затем был произведен для всех деревьев и таким образом получены т.н. пересчетные значения.

2. Индексирование пересчетных значений. Для исключения различий, обусловленных разным исходным уровнем содержания меди в окружающей дерево среде среднее пересчетных значений до 1931 года (начало работы комбината) для каждого дерева принималось за 100% и на этой основе проводился еще один пересчет всех значений, полученных на первом этапе стандартизации. Вычисленные таким образом величины и представляют собой стандартизованные данные, т.н. индексы накопления меди.

На рис. 6 представлены средние для каждой пробной площади индексы накопления меди.

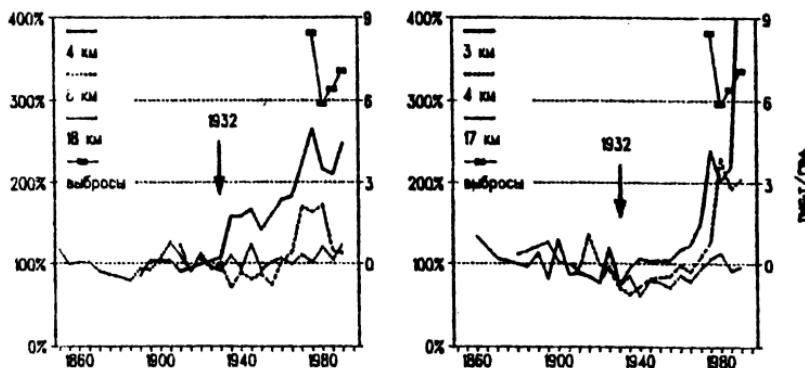


Рис. 6. Усредненные индексы накопления меди на северном (слева) и южном (справа) направлениях от комбината и объемы выбросов твердых веществ КМК за последние годы.

Кривая индексов для ПП С-4 примерно совпадает с этапами развития Красноуральского медеплавильного комбината (глава 3).

Индексы на ПП С-8, хотя имеют большую ошибку средней, указывают на то, что загрязнение медью на этой пробе достигло существенного для деревьев уровня не ранее 1970 г., а после

1980 г. началось снижение уровня загрязнения вследствии уменьшения выбросов.

На ПП Ю-3 и Ю-5, наоборот, увеличение индексов наблюдается после 1975 г. Возможное объяснение, видимо, состоит в том, что в южном направлении доля водорастворимой меди в выпадениях ниже, чем на северном направлении. Тем самым, на этих пробных площадях поступление меди в дерево будет, по-видимому, в большей степени определяться почвенными запасами, которые, естественно, не могут резко меняться при увеличении или уменьшении ежегодных поступлений меди.

На всех остальных пробных площадях индексы накопления меди практически не изменились в годы работы комбината.

Конечно же, предложенный метод стандартизации не может быть универсальным для всех элементов, видов деревьев, сезонов года и т.д. Коэффициенты для выявления доли фиксированных форм могут быть другими. И в целом описанная процедура в определенной мере несовершена. Более точно долю подвижных форм можно было бы оценить сравнивая, например, данные для одного дерева в разные сезоны года, или же проводя химический анализ предварительно выделенных клеточных стенок трахеид. Тем не менее, в первом приближении такой подход представляется полезным.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

В результате исследований содержания химических элементов в годичных слоях деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в окрестностях медеплавильного комбината, были сделаны следующие выводы:

1 Все изученные элементы (K, Ca, Mg, Mn, Zn, Al, Fe, Cu) имеют свои особенности радиального распределения в древесине

Эти особенности выражены в специфической для каждого элемента форме кривой распределения.

2. Содержание K, Mg в значительной степени определяется их физиологическими функциями. На распределение других элементов (Mn, Zn, Al, Fe, Cu) существенное влияние оказывают как физиологические процессы в древесине, так и уровень загрязнения среды в год формирования данного годичного слоя. В районе исследований наиболее подходящим элементом для целей ретроспективной биоиндикации оказалась медь.

3. Деревья господствующие и с наиболее развитой кроной накапливают в древесине больше потенциально токсичных микроэлементов, чем деревья с господствующими и с менее развитой кроной. В отличии от других работ, не выявлены различия в накоплении микроэлементов у деревьев разного возраста.

4. Предложен метод стандартизации данных о содержании меди в годичных слоях древесины сосны обыкновенной, который позволяет исключить влияние подвижных форм элемента и индивидуальных различий деревьев. Полученные этим методом индексы накопления меди удовлетворительно отражают изменения интенсивности загрязнения среды в прошлом. Такой показатель можно рекомендовать для использования в ретроспективной экологической экспертизе, экологическом нормировании.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1 Хантемиров Р.М. Особенности распределения металлов в годичных слоях древесины сосны обыкновенной // Изучение, охрана и рациональное использование природных ресурсов. Тез. науч. конф. Уфа, 1989. Ч. 1.- С. 48.

2 Хантемиров Р.М. Биоиндикация загрязнения окружающей

среды методами химической дендрохронологии // Охрана окружающей среды и рациональное использование ресурсов. Тез. докл. науч.-техн. конф. - Новополоцк, 1989.- С. 102.

3. Баженов А.В., Салыков О.Ф. Хантемиров Р.М. Бета-активность в годичных слоях древесины сосны обыкновенной из района Чернобыльской АЭС // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. Тез. докл. V Всес. совещ.- Свердловск, 1990.- С. 9-10.

4. Хантемиров Р.М. Возможности использования элементного состава годичных слоев деревьев для индикации загрязнения окружающей среды // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. Тез. докл. V Всес. совещ.- Свердловск, 1990.- С.156-157.

5. Hantemirov R.M. Possibility to use chemical elements in tree rings of Scots pine for the air pollution reconstruction // LUNDQUA.- 1991.- У. 34.- Р. 381-384.



Подписано в печ. 31.10.1991. 60x84/16
Объем 1,0 Тир. 100 Зак. № 321
Свердловск, К-83, пр. Ленина, 51. Типолаборатория УрГУ.