

Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района

А. В. КИРДЯНОВ¹, В. С. МЫГЛАН², А. В. ПИМЕНОВ¹, А. А. КНОРРЕ^{1,3},
А. К. ЭКАРТ¹, Е. А. ВАГАНОВ^{1,2}

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

² Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

³ Государственный природный заповедник “Столбы”
660006, Красноярск, ул. Карьерная, 26-а
E-mail: kirdyanov@ksc.krasn.ru

АННОТАЦИЯ

В результате анализа радиального прироста деревьев лиственницы сибирской, произрастающей в зоне воздействия атмосферных выбросов промышленных предприятий г. Норильска, реконструирована динамика отпада лиственничных древостоев, расположенных вдоль р. Рыбная – направления основного переноса техногенных эмиссий. С использованием метода перекрестного датирования определены даты гибели 268 деревьев, произраставших на четырех участках на расстоянии 22, 45, 68 и 85 км от г. Норильска. Гибель отдельных деревьев на ближайших к Норильску пробных площадях отмечается сразу после ввода в эксплуатацию первых предприятий в начале 1940-х гг. Массовая гибель деревьев началась в 1960-х гг. в связи с началом работы новых производств, что привело к увеличению выбросов. Полное разрушение древостоев (100 % гибель лиственницы) происходит к середине 1970-х гг. На самом удаленном участке (85 км) всплеск гибели лиственницы отмечен в период с 1975 по 1980 г., и по состоянию на 2004 г. только 23 % деревьев лиственницы оставались живыми. Сравнительный анализ величины радиального прироста лиственницы на пробных площадях в зоне воздействия выбросов и вне ее свидетельствует о деградации роста перед полным разрушением древостоев. Неблагоприятные климатические условия являются дополнительным фактором, увеличивающим скорость отмирания деревьев в результате воздействия промышленных выбросов предприятий. Исходя из состояния исследованных древостоев, находящихся на расстоянии 86 км от г. Норильска, и, несмотря на увеличение прироста отдельных деревьев, расширение зоны полностью погибших лесов может быть вполне вероятным при сохранении существующих темпов загрязнения.

Ключевые слова: *Larix sibirica* L., дендрохронология, техногенные выбросы, динамика гибели древостоев, притундровые леса.

Притундровые леса северной Евразии, выполняющие важнейшие средообразующие функции, формируют уникальный природный комплекс, отдельные элементы которого чрезвычайно чувствительны к внешнему

воздействию как природного, так и антропогенного характера. На севере Средней Сибири экосистемы этого лесного пояса на протяжении уже более 70 лет находятся под сильным влиянием выбросов предприятий

Норильского промышленного района, что привело не только к нарушению устойчивости биоценозов, но и обусловило деградацию лесной растительности на территории порядка 500 тыс. га. Для оценки степени воздействия техногенных выбросов на растительный и животный мир региона используется целый набор подходов, основанных на применении различных методик химико-аналитического контроля за состоянием окружающей среды [Зырина, Малахова, 1981], дистанционного зондирования [Скрипальщикова и др., 2002; Зубарева и др., 2003], оценки биологического разнообразия [Телятников, Пристяжнюк, 2006], жизненного состояния растительности [Varaksin, Kuznetsova, 2008] и т. д. Реконструкция состояния экосистем в период до и после начала работы предприятий, загрязняющих окружающую среду, с целью сопоставления этих данных с объемами промышленных выбросов является одним из наиболее перспективных направлений для определения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, после которых происходит усыхание деревьев. Применение методик дендрохронологического анализа при оценке степени влияния атмосферных выбросов на состояние лесных экосистем позволяет провести ретроспективный анализ динамики гибели древостоев на основе точного определения времени гибели отдельных деревьев и распада древостоев [Ivshin, Shiyatov, 1996]. Перспективность данного подхода была продемонстрирована при изучении не только лесных экосистем, непосредственно пострадавших в результате сильного воздействия атмосферных выбросов поллютантов, но и при оценке состояния древесной растительности в местообитаниях, удаленных от промышленных районов [Savva, Berninger, 2010]. Воздействие загрязняющих веществ на древесную растительность северных широт Евразии может быть одной из причин расхождения трендов величины радиального прироста деревьев и летней температуры после 1960-х гг., наблюдаемого в регионах, где изменчивость величины радиального прироста во многом определяется ходом летней температуры [Briffa et al., 1998; D'Arrigo et al., 2008].

В данной работе на примере нескольких участков, расположенных на разном удале-

нии от г. Норильска в направлении основного переноса воздушных масс, а следовательно, и поллютантов предприятий Норильского горно-металлургического комплекса, выполнена реконструкция динамики гибели древостоев. Показана перспективность применения данной методики для моделирования скорости расширения территории пораженных лесов в зоне промышленных выбросов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Динамика гибели деревьев в зоне воздействия выбросов предприятий Норильского промышленного района изучалась на примере древостоев, находящихся на удалении 22 км (участок “Омнутах”, далее Л22), 45 км (участок “Чопко”, Л45), 68 км (“Омне”, Л68) и 85 км (“Деличе”, Л85) от г. Норильска в юго-восточном направлении (бассейн р. Рыбная), что соответствует направлению переноса большей части поллютантов предприятий Норильского промышленного района в летний период [Зубарева и др., 2003]. Сбор древесных спилов у мертвых деревьев лиственницы проводился в ходе экспедиционных работ 2004 г. на участках, приуроченных к пробным площадям, на которых проходила инвентаризация древостоев и комплексный анализ состояния растительности.

В районе наиболее удаленного участка (“Деличе”) наряду с погибшими имелись живые деревья лиственницы разных категорий состояния, доля которых составила около 23 %. Здесь собирали древесные образцы также и у живых деревьев.

На каждом участке вблизи заложенных временных пробных площадей производился практически сплошной вывал деревьев на территории от 0,3 до 0,7 га. Сбор древесных спилов проводился на высоте 1,3 м от поверхности почвы. Для определения хода роста деревьев и уточнения их абсолютного возраста у некоторых деревьев дополнительно отбирали диски на уровне корневой шейки и половины высоты дерева. Всего в ходе экспедиционных работ отобраны для анализа спилы 268 деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) (см. таблицу): 90 деревьев на участке, находящемся на расстоянии 22 км от г. Норильска (Л22), 93 дерева на Л45, 33 – на Л68 и 52 – на Л85.

Описание использованного для анализа материала

Участок	Кол-во деревьев, шт.	Средний возраст, лет	Минимальный возраст, лет	Максимальный возраст, лет
Л22	90	177	31	354
Л45	93	196	49	380
Л68	33	216	64	398
Л85	52	180	52	297

П р и м е ч а н и е. Количество деревьев на участке Л85 приведено без учета живых деревьев.

В лабораторных условиях поверхность древесных дисков и кернов подготавливалась к измерениям ширины годичных колец в соответствии с методикой, описанной Е. А. Вагановым с соавт. [2000]. Измерения величины радиального прироста проводились на установке LINTAB (Frank Rinn, Germany) с использованием программного обеспечения TSAP (Frank Rinn, Germany). Точность измерений составила 0,01 мм. В зависимости от сохранности древесного спила измерения для каждого из них проводились в двух-трех радиальных направлениях. Обработка данных осуществлялась с использованием Библиотеки дендрохронологических программ (DPL).

Дата гибели каждого дерева определялась с использованием метода перекрестной датировки, основанного на сопоставлении пого-

дичной изменчивости ширины годичных колец деревьев, произрастающих в пределах одного дендроклиматического района (рис. 1). Большинство исследованных деревьев на момент сбора образцов погибли, и для них не было возможности напрямую определить год гибели. Поэтому для календарной привязки хронологий использовалась временная серия по лиственнице сибирской, ранее полученная для участка на р. Хантайка (контроль, 68°05' с. ш., 86°44' в. д.), находящегося в 150 км в юго-западном направлении от г. Норильска [Knorre et al., 2006], где влияние атмосферных выбросов предприятий Норильского промышленного района на растительность минимально [Зубарева и др., 2003]. Дата гибели каждого дерева вычислялась как календарный год, следующий за годом с последним

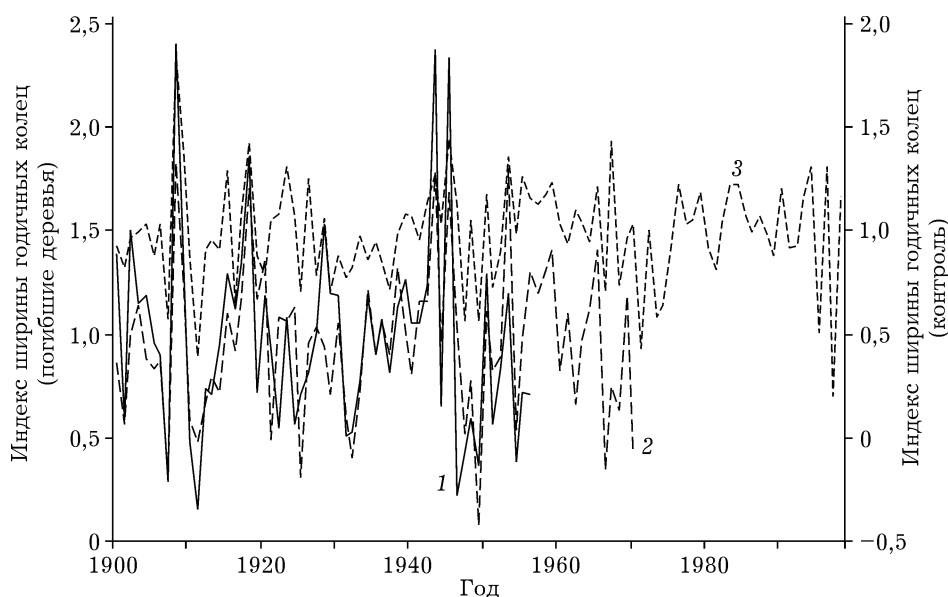


Рис. 1. Пример графической датировки времени гибели двух деревьев (тонкие линии) посредством метода перекрестной датировки относительно обобщенной хронологии, построенной для участка на р. Хантайка (контроль). Стрелками указаны значения ширины колец последних сформированных колец у исследуемых деревьев

сформированным древесным кольцом (см. рис. 1). Поскольку для части деревьев в период усыхания характерно снижение величины и изменчивости радиального прироста, зачастую сопровождающееся возрастанием доли выпавших колец, то точное определение года гибели для таких деревьев представлялось затруднительным. В связи с этим возможная ошибка даты гибели отдельных деревьев с подавленным приростом в последние годы составила $\pm 1-2$ года.

В ходе работы были определены продолжительность жизни на высоте 1,3 м и даты гибели для всех исследованных деревьев. Необходимо отметить, что отпад деревьев связан не только с их старением, поскольку собственный возраст исследованных деревьев на высоте груди варьирует от 31 до 389 лет (см. таблицу). Это свидетельствует о том, что в анализ вовлекались не только старые, но и молодые деревья, не достигшие возраста спелости.

Поскольку для каждого участка данные по датам гибели деревьев получены для различного их количества, для сравнения динамики гибели древостоев, находящихся на разном удалении от источника загрязнений, далее в работе приводятся нормированные данные: количество живых деревьев в каждый год отнесено к общему количеству живых в конце 1930-х годов деревьев. Для участков наиболее удаленного четвертого профиля, где часть деревьев живые, доля мертвых деревьев лиственницы в древостое определялась по данным учета древостоев на пробных площадях.

При проведении сравнительного анализа величины радиального прироста на разных участках использовались абсолютные значения, поскольку при этом сохраняется характерный рисунок изменений ширины колец после начала работы предприятий г. Норильска. Данный подход представлялся возможным в связи с тем, что деревья на всех участках произрастали в схожих условиях и в пределах одного дендроклиматического района. Кроме того, средний возраст деревьев на высоте груди на всех участках, включая контроль, составляет более 170 лет (см. таблицу), т. е. более 120 лет на момент начала загрязнения. В связи с этим возрастная тенденция в хронологиях ширины колец большинства деревьев за период работы предприятий Норильского промышленного района не выражен, и уменьшение радиального прироста не может быть связано только с ним.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 и 3 показаны соответственно динамика и скорость гибели деревьев лиственницы, произрастающих на участках на разном удалении от г. Норильска. Первые случаи усыхания лиственницы, связанные, вероятно, с воздействием выбросов предприятий Норильского промышленного района отмечаются в 1940-е гг. для всех заложённых профилей. Массовая гибель деревьев начинается на трех ближайших профилях в середине 50-х гг. прошлого столетия, а 1960-е и 1970-е гг. характеризуются наибольшей скоростью деградации этих древостоев. К се-

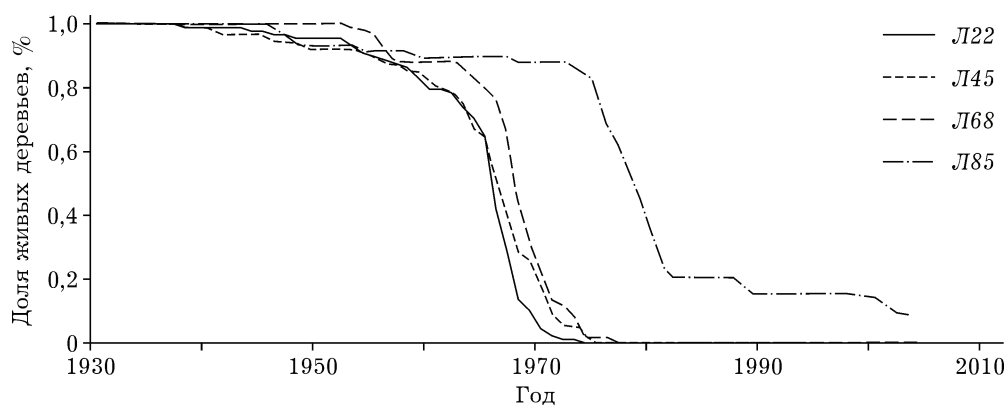


Рис. 2. Динамика гибели деревьев лиственницы на участках, находящихся на разном удалении от г. Норильска. Приведено к количеству живых деревьев в 1935 г. (1 = 100 %)

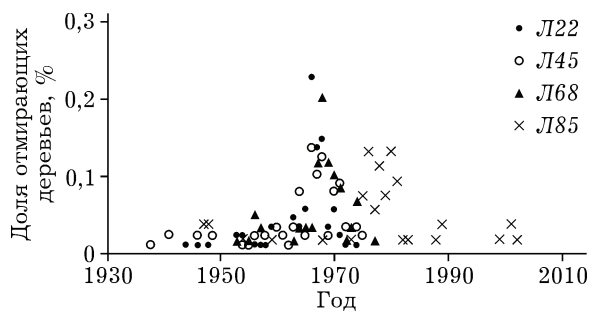


Рис. 3. Скорость гибели деревьев лиственницы на участках, находящихся на разном удалении от г. Норильска. Приведено к количеству живых деревьев в 1935 г. (1 = 100 %)

редине 1970-х гг. насаждения на трех наиболее приближенных к городу участках до 70 км в юго-восточном направлении от г. Норильска погибли полностью.

Начиная со второй половины 1960-х гг. наблюдается четкая дифференциация районов исследования по динамике гибели деревьев в зависимости от удаленности от г. Норильска (см. рис. 3). Для участков Л22 и Л45 максимальные скорости отпада древостоев отмечаются несколько раньше, чем для Л68, но различие не является достоверным, так как при определении календарного года гибели дерева возможны ошибки в один-два года. Наиболее сильно зависимость динамики гибели древостоев от расстояния проявляется для самого удаленного из исследованных участков, где массовая гибель лиственницы отмечается только с середины 1970-х и до начала 1980-х гг. Несколько деревьев погибли на рубеже 1980-х и 1990-х и в начале 2000-х гг. Ко времени отбора образцов в

2004 г. около 23 % деревьев лиственницы на этом участке оставались живыми.

Сравнительный анализ обобщенных хронологий по ширине древесных колец, полученных для разных участков в пределах и вне зоны прямого воздействия выбросов предприятий г. Норильска, указывает на высокую синхронность погодичных изменений величины радиального прироста деревьев, произрастающих на разном удалении от источника загрязнения (рис. 4). Коэффициент корреляции за период с 1930 г. составляет от 0,56 ($N = 46$, $p < 0,001$) между хронологиями Л45 и Л85 и до $r = 0,90$ ($p < 0,000001$) между временными сериями Л22 и Л45 ($N = 44$) и Л45 и Л68 ($N = 46$). Кроме того, хронологии всех участков в зоне загрязнения значимо ($p < 0,05$) коррелируют с временной серией контрольного участка. Наименьшая связь хронологии контроля отмечается с временной серией самого удаленного от него участка Л22, $r = 0,30$ ($N = 44$, $p < 0,05$), а наиболее тесная – с Л68, $r = 0,56$ ($N = 47$, $p < 0,000001$). Уменьшение синхронности погодичных изменений ширины колец характерно для трех наиболее близких к источнику загрязнения участков после 1970-х гг., что связано и с уменьшением репрезентативности хронологий, и с подавлением прироста небольшого числа выживших к этому времени деревьев перед их гибелью.

Для всех хронологий отмечается период увеличенного прироста в начале – середине 1940-х гг. В конце 1940-х – начале 1950-х гг. для всех обобщенных временных серий характерно уменьшение значений, которое

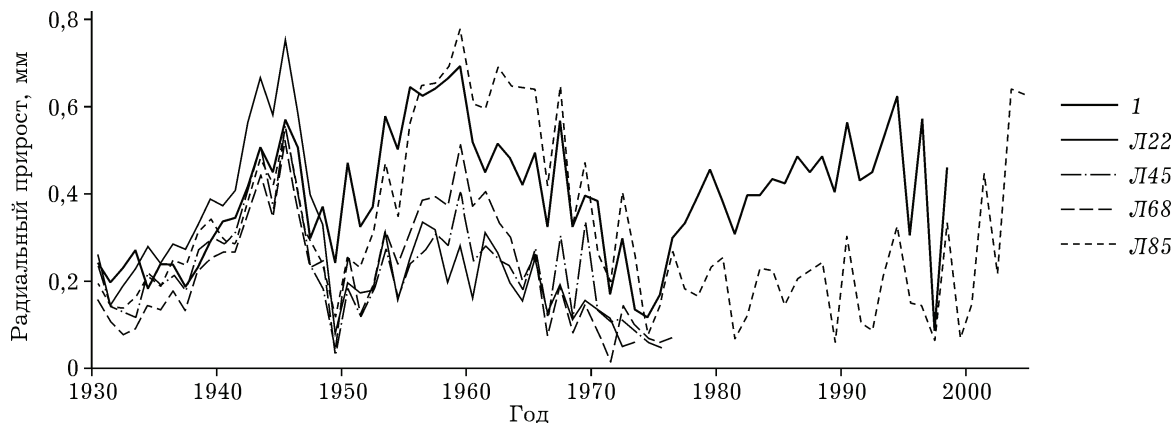


Рис. 4. Динамика радиального прироста лиственницы на участках на разном удалении от г. Норильска в сравнении с контрольным участком

с середины 1950-х гг. сменяется увеличением прироста, причем ширина годичных колец деревьев существенно увеличивается только на участках, наиболее удаленных от г. Норильска. Для трех местообитаний, находящихся на расстоянии 22, 45 и 68 км от города, тоже отмечается увеличение индексов радиального прироста, но в значительно меньшей степени, чем для участка на расстоянии 85 км и контрольной пробной площади. Следующий период относительно низкого прироста отмечен в начале 1970-х гг., после которого происходит полное разрушение ближайших к г. Норильску древостоев. Из оставшихся двух хронологий радиальный прирост увеличивается после этого периода депрессии только на контрольном участке, тогда как прирост лиственницы на участке Л85 остается на прежнем низком уровне и даже несколько снижается к концу 1980-х гг. Затем на участке Л85, после относительно стабильного периода, в 1990-х гг. начинается рост ширины колец. Необходимо отметить, что у нас имелись данные только для пяти живых деревьев на момент сбора образцов, и достоверность увеличения прироста в конце 1990-х – начале 2000-х гг. невелика. Хронология контрольного участка доступна лишь до 1998 г., поэтому нельзя сделать заключение, является ли данное увеличение радиального прироста характерным для всей территории или связано с ослаблением техногенной нагрузки на экосистемы района в 1990-е гг.

В динамике разрушения лиственничных древостоев, погибших в результате воздействия атмосферных выбросов предприятий Норильского промышленного района, можно выделить три стадии. На первой стадии происходит отпад отдельных, вероятно, ослабленных деревьев в результате летального поражения кроны. Одновременно происходит уменьшение прироста у остальных деревьев. Для второй стадии характерна массовая гибель деревьев из-за повторяющихся в течение нескольких лет случаев повреждения фотоассимиляционного аппарата. Во время третьей стадии скорость деградации древостоев падает, что связано с небольшим количеством оставшихся в живых деревьев, которые продолжают постепенно отмирать.

Изменение скорости отмирания деревьев со времени начала выпуска металлов в г. Норильске в промышленном объеме в начале 1940-х гг. хорошо согласуется с динамикой антропогенной нагрузки, т. е. количеством загрязняющих веществ, производимых и выбрасываемых в атмосферу предприятиями района. Так, начало периода массовой гибели деревьев связано с открытием и разработкой Талнахского месторождения медно-никелевых руд в 1960 г., для руды которого характерно повышенное содержание серы. Кроме того, в середине 1960-х гг. завершается строительство и происходит ввод в эксплуатацию новых производственных мощностей по переработке руды и выпуску металлов. Строительство высоких труб также обеспечило большой территориальный охват подверженных воздействию поллютантов экосистем, вследствие чего в середине 1970-х гг. начинается массовая гибель деревьев на расстоянии более 80 км от г. Норильска. В период с 1965 по 1980 г. происходит трехкратное увеличение объемов продукции металлов с максимумом в 1989 г. Постоянное повышение выпуска продукции предприятиями в течение полувека связано с увеличением выбросов поллютантов в атмосферу, которое достигло в середине 1980-х гг. объемов более 2,5 млн т/год. Большую часть газообразных выбросов составляет диоксид серы, при определенных погодных условиях приводящий к выпадению кислотных дождей, поражающих хвою деревьев, и, как следствие, к существенным нарушениям фотосинтеза [Schulze, 1989]. Необходимо отметить, что гибель деревьев связана не только с повторяющейся из года в год дехромацией хвои и ее опадением в результате воздействия промышленных выбросов. Как указано в работе В. И. Воронина [2005], повреждение ассимиляционного аппарата деревьев является фактором, способствующим усилению уязвимости деревьев при вспышках размножения насекомых и к поражению грибами. Кроме того, в экосистемах, подверженных влиянию поллютантов и, прежде всего SO_2 , происходит изменение химического состава почв [Effects of Accumulation..., 1983]. Показана возможность возникновения водного дефицита [Savard et al., 2004] и недостатка элемен-

тов питания [Rautio et al., 1998] у деревьев вследствие химического ожога хвои.

Еще одним фактором, влияющим на выживаемость деревьев, подверженных влиянию промышленных выбросов, являются климатические условия, которые могут выступать в роли стрессоров и способствовать развитию негативных процессов в лесах [Воронин, 2005]. В пределах рассматриваемого региона температура воздуха летнего периода во многом определяет изменчивость величины и параметров структуры радиального прироста деревьев лиственницы [Ваганов и др., 1996; Silkin, Kirdyanov, 2003; Esper et al., 2010]. Комбинированное воздействие низкой температуры во время вегетационного периода и поллютантов приводит к усилению стресса для древесной растительности, что обуславливает не только снижение прироста в годы с относительно холодным летом, но и невозможность ослабленных деревьев увеличить радиальный прирост в относительно теплые периоды (см. рис. 4). Таким образом, антропогенное загрязнение может не только влиять на климатическую реакцию радиального прироста [Ivshin, Shiyatov, 1996], но и приводить к существенному снижению последнего. Поскольку перенос техногенных выбросов возможен на расстояния в несколько сотен километров, то их влияние может являться одной из причин расхождения трендов летней температуры и радиального прироста деревьев на огромной территории Евразии [Lloyd, Bunn, 2007].

Средняя скорость расширения территории погибших лиственничников в юго-восточном направлении за первые пятьдесят лет работы предприятий Норильска составила 1,7 км/год. Однако, поскольку до середины 1950-х гг. поражение было не настолько сильным, чтобы приводить к массовой гибели лиственницы на расстоянии более 20 км от города, и полная деградация древостоев отмечается только в конце 1960-х гг., то скорость расширения территории полностью погибших древостоев значительно выше для отдельных областей. Для уточнения скорости распространения пораженной лесной территории необходимо увеличение репрезентативности участков для дендрохронологического анализа в пределах зоны погибших лесов. Таким образом, необходим более широ-

кий охват дендрохронологическими исследованиями как территории самого Норильского промышленного района, так и соседствующих с ним регионов. Следует также отметить, что исходя из состояния исследованных древостоев, находящихся на расстоянии 85 км от г. Норильска, и несмотря на увеличение прироста отдельных деревьев, расширение зоны полностью погибших лесов вполне вероятно при сохранении существующих темпов загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-04-00542), Интеграционного проекта СО РАН № 53 и проекта НШ-5327.2012.4.

ЛИТЕРАТУРА

- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 246 с.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учеб.-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. Ч. I: Основы дендрохронологии. 80 с.
- Воронин В. И. Биоиндикация крупномасштабных техногенных повреждений лесов Восточной Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2005. 46 с.
- Зубарева О. Н., Скрипальщикова Л. Н., Грешилова Н. В., Харук В. И. Зонирование ландшафтов, подверженных техногенному воздействию выбросов Норильского горно-металлургического комбината // Экология. 2003. № 6. С. 415-419.
- Зырина Н. Г., Малахова С. Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоиздат, 1981. 109 с.
- Скрипальщикова Л. Н., Харук В. И., Яхимович А. П., Лопатин А. П., Грешилова Н. В., Страшников А. В. Зонирование техногенных воздействий по ореолам загрязнения снежного покрова // Сиб. экол. журн. 2002. № 1. С. 95-100.
- Телятников М. И., Пристяжнюк С. А. Негативное воздействие воздушных выбросов предприятий г. Норильска на растительность тундры и лесотундры // Turkaninowia. 2006. Vol. 9, N 4. P. 93-111.
- Briffa K. R., Schweingruber F., Jones P., Osborn T. Reduced sensitivity of recent tree growth to temperature at high northern latitudes // Nature. 1998. Vol. 391. P. 678-682.
- D'Arrigo R., Wilson R., Liepert B., Cherubini P. On the 'divergence problem' in northern forests: A review of the tree-ring evidence and possible causes // Global and Planetary Change. 2008. Vol. 60. P. 289-305.
- Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems / eds. B. Ulrich, J. Pankrath. Dordrecht: Reidel, 1983. 389 p.

- Esper J., Frank D., Buntgen U., Verstege A., Hantemirov R. M., Kirilyanov A. V. Trends and uncertainties in Siberian indicators of 20th century warming // *Global Change Biol.* 2010. Vol. 16. P. 386–398.
- Ivshin A. P., Shiyatov V. S. The assessment of subtundra forests degradation by dendrochronological methods in the Norilsk industrial area // *Dendrochronologia.* 1996. Vol. 13. P. 113–126.
- Knorre A. A., Kirilyanov A. V., Vaganov E. A. Climatically-induced interannual variation in aboveground biomass productivity in the forest-tundra and northern taiga of central Siberia // *Oecologia.* 2006. Vol. 147. P. 86–95.
- Lloyd A., Bunn A. Responses of the circumpolar boreal forests to 20th century climate variability // *Environ. Res. Lett.* 2007. Vol. 2, N 045013.
- Rautio P., Huttunen S., Kukkola E., Peura R., Lamppu J. Deposited particles, element concentrations and needle injuries on Scots pines along an industrial pollution transect in northern Europe // *Environ. Pollution.* 1998. Vol. 103. P. 81–89.
- Savard M. M., Begin C., Parent M., Smirnov A., Marion J. Effects of smelter sulphur dioxide emissions: A spatiotemporal perspective using carbon isotopes in tree rings // *J. Environ. Qual.* 2004. Vol. 33. P.12–26.
- Savva Yu., Berninger F. Sulphur deposition causes a large-scale growth decline in boreal forests in Eurasia // *Global Biochem. Cycles.* 2010. Vol. 24. GB3002. P. 1–14.
- Schulze E. D. Tree growth and inferred temperature variability at the North American Arctic treeline // *Science.* 1989. Vol. 244. P. 776–783.
- Silkin P. P., Kirilyanov A. V. The relationship between variability of cell wall mass of earlywood and latewood tracheids in larch tree-rings, the rate of tree-ring growth and climatic changes // *Holzforschung.* 2003. Vol. 57. P 1–7.
- Varaksin G. S., Kuznetsova G. V. Assessment of vegetable cover in technogenically affected areas in the Outskirts of Noril'sk // *Contemp. Probl. of Ecol.* 2008. Vol. 1, N 4. P. 505–508.

The Die-Off Dynamics of Siberian Larch Under the Impact of Pollutants Emitted by the Norilsk Enterprises

A. V. KIRDYANOV¹, V. S. MYGLAN², A. V. PIMENOV¹, A. A. KNORRE^{1,3},
A. K. EKART¹, E. A. VAGANOV^{1,2}

¹ *V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28*

² *Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny ave., 79*

³ *Stolby State Nature Reserve
660006, Krasnoyarsk, Kar'yernaja str., 26-A
E-mail: kirdyanov@ksc.krasn.ru*

The radial growth of Siberian larch under the impact of pollutants emitted by the enterprises of Norilsk was analyzed to reconstruct die-off dynamics of larch stands located along Rybnaya River, along the main direction of pollutant air transport. Dendrochronological cross-dating was used to detect the year of die-off of 268 trees growing at 4 sites located at 22, 45, 68 and 85 km from Norilsk. Death of individual trees at the sites nearest to Norilsk was recorded immediately after the first enterprises had started to operate in early 1940s. Mass mortality of the trees had started in 1960s due to operation of new smelters and consequent increase in pollutant emissions. Complete degradation of the stands (100 % die-off of larch trees) had occurred in 1970s. At the most distant site (85 km), the highest rate of larch had been observed between 1975 and 1980 and in 2004 only 23 % of larch trees were alive. Comparative analysis of tree-ring width of the studied trees testified on decrease of tree radial growth at the period before the complete degradation of stands. Unfavorable climatic conditions became an additional factor that enhanced the rate of tree die-off due to the impact of pollutants. Although the increase of tree radial growth had been found in late 1990s – early 2000s at the site located 85 km from Norilsk, the status of studied trees indicated that the area of completely degraded forest ecosystems might become larger under the present conditions.

Key words: *Larix sibirica* L., dendrochronology, pollutant emissions, die-off of tree stands, forest-tundra.