

Российская Федерация  
Ямало-Ненецкий автономный округ

# **НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК**

## **Выпуск 11**

### **ОБДОРЯ: ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА, СОВРЕМЕННОСТЬ**

**Редакционный совет:**

**Артеев А.В.** — заместитель губернатора автономного округа (председатель редакционного совета)

**Акаёмов О.В.** — заместитель начальника департамента ИСПИ администрации ЯНАО

**Алексеев С.Е.** — начальник отдела координации научных исследований,  
секретарь редакционного совета

**Зенько А.П.** — начальник отдела по работе с общественными,  
национальными и религиозными объединениями департамента ИСПИ

**Колесник В.Г.** — начальник департамента информации  
и социально-политических исследований администрации ЯНАО

**Лаптандер С.В.** — заместитель начальника департамента финансов

**Выпуск № 11**

**Обдорья: история, культура, современность**

**Редакционная коллегия:**

**Головнев А.В.** — отв. редактор, институт истории и археологии УрО РАН,  
доктор исторических наук

**Зенько А.П.** — начальник отдела по работе с общественными,  
национальными и религиозными объединениями департамента ИСПИ

**Федорова Н.В.** — институт истории и археологии УрО РАН,  
кандидат исторических наук

**Сязи А.М.** — директор научного центра гуманитарных исследований коренных малочисленных  
народов Севера, кандидат исторических наук

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ДИНАМИКА ЛЕСОТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ В XX СТОЛЕТИИ.<sup>1</sup>

С.Г.Шиятов, В.С.Мазепа, О.Ю.Чехлов

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях Крайнего Севера древесная растительность произрастает на пределе своего распространения и влияние климатических факторов, в частности температуры, на функционирование лесотундровых экосистем чрезвычайно велико. Наиболее сильные погодичные и многолетние изменения температуры наблюдаются в высоких широтах (Briffa, Jones, 1993), а в северных районах Урала и Западной Сибири они наиболее значительны в пределах Субарктики (Рубинштейн, Полозова, 1966; Шиятов, Мазепа, 1995; Мазепа, 1999а). Здесь в первую очередь можно оценить реакцию древесной растительности на ожидаемое глобальное потепление климата (Ваганов и др., 1996; Мазепа, 1999б, 2000). Смещение верхнего и полярного пределов распространения древесной растительности также в значительной степени зависит от климатических условий. Специальные исследования (Graibill, Shiyatov, 1992; Shiyatov, 1993, 1995) показали, что с IX по XIII вв. на Полярном Урале был теплый период и граница леса продвигалась выше в горы. Затем наступило похолодание (с XIV по XIX вв.) и верхняя граница существенно снизилась. Текущее столетие было теплым, поэтому древесная растительность стала интенсивно продвигаться выше в горы. Факт увеличения облесенности гор Полярного Урала в XX столетии подтверждается также документально при сравнении старых и современных фотографий (Шиятов, 2000). В настоящей работе проанализированы прямые наблюдения за изменением некоторых морфометрических параметров деревьев, произрастающих на верхней границе леса на Полярном Урале за последние 40 лет и приведена оценка климатогенной динамики древостоев лесотундрового экотона в течение XX столетия.

### РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на восточном макросклоне Полярного Урала (бассейн р.Соби) на верхнем пределе распространения древесной растительности. На рис. 1 представлено расположение района исследований и ближайших метеостанций. Выбранная территория исследования слабо нарушена хозяйственной деятельностью человека.

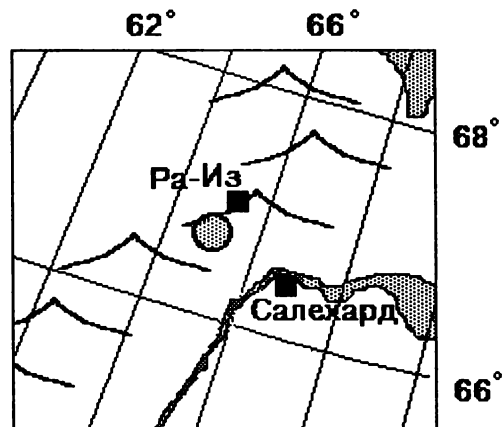


Рис. 1. Расположение района исследований (кружок) и ближайших метеостанций (Ра-Из, Салехард)

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для анализа изменения климата и его влияния на динамику радиального прироста деревьев использовались инструментальные наблюдения за средней месячной температурой воздуха и месячным количеством осадков по двум метеостанциям Салехард (WMO #233300, 66°31' с.ш., 66°36' в.д., 35 м н.у.м.) и Ра-Из (WMO #233310, 66°57' с.ш., 65°28' в.д., 890 м н.у.м.). Первая находится на расстоянии 50 км от района исследований и имеет период наблюдений с 1883 г. Вторая, высокогорная, находится в непосредственной близости к району исследований и имеет период наблюдений

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 01-04-49584, 02-04-48180

с 1939 по 1998 гг. Сравнение рядов инструментальных наблюдений этих метеостанций показывает очень высокую степень сходства между ними за все месяцы, лишь средние многолетние характеристики различаются. Поэтому временная изменчивость элементов климата на всей территории Полярного Урала проанализирована на основе данных по станции Салехард, где имеется самый длительный ряд метеорологических наблюдений.

Для оценки изменений притундровых редколесий в XX столетии послужил постоянный профиль. Этот профиль, длиной 860 м и шириной 80 м (от верхней границы леса и далее вниз по склону), заложен С.Г.Шиятовым в 1960 году в пределах лесотундрового экотона. Здесь произрастает лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.) с единичными экземплярами ели сибирской (*Picea obovata* L.). В 60-х годах на профиле произведено картирование и измерение морфометрических характеристик (более 20 показателей) всех живых деревьев и подроста (более 4500 шт.). Кроме того, закартированы сухостой, валеж и остатки давно погибших деревьев. Географические координаты начала и конца профиля — 66°48.951' с.ш., 65°34.151' в.д. и 66°48.698' с.ш., 65°35.114' в.д., а высоты — 270 и 193 м н.у.м. соответственно. В 1999-2000 гг. такая работа на профиле была проделана вторично, измерена полная характеристика морфометрии древесного полога, закартирован вновь появившийся подрост и взяты буровые образцы у более чем 500 деревьев для определения возраста и оценки изменения годичного радиального прироста. Это дало возможность количественно оценить изменение таких морфологических показателей деревьев и древостоев, как диаметр и высота, размеры и сомкнутость крон, густота древостоев, отпад деревьев, изменение формы роста и др. за последние 40 лет. На территории профиля также определены и закартированы 25 выделов, однородные по комплексу таксационных характеристик и фитоценолотическому статусу.

Объем стволовой массы живых деревьев оценивался по трем диаметрам (у основания, на одной десятой высоты ствола и на высоте груди) и высоте ствола. С усохших стволов за период с 1960 по 2000 гг. были взяты по 3 спилов на разных высотах для определения дат их появления и гибели дендрохронологическим методом, измерены диаметры и высоты для определения объема.

Годичный радиальный прирост у спилов и буровых образцов измерялся с точностью 0.01 мм. А сами образцы были абсолютно датированы между собой методом перекрестной датировки.

Особое внимание было уделено изучению климатически обусловленных смен лесотундровой растительности, которые происходили в XX в. Источниками информации являлись старые геоботанические и лесоводственные описания на постоянных и временных пробных площадях и профилях, наземные фотоснимки, нанесенное на топографическую карту положение верхней границы редколесий в начале 1960-х годов, время появления и гибели сухостоя и валежа с нанесением на карту их точного местопроизрастания.

К настоящему времени закартировано около 30 км<sup>2</sup> территории лесотундрового экотона у подножий гор Черная и Мал. Черная. При картировании за основу взят площадной подход, т.е. нанесение на карту выделов лесотундровых древостоев, каждый из которых состоит из различных по фитоценолотической роли возрастных поколений деревьев. Учитывались также основные характеристики местообитаний (условия увлажнения и снегонакопления, ветровой режим, крутизна и экспозиция склона, каменистость грунтов, горная порода). На подготовленную топооснову масштаба 1:10000 с использованием местных ориентиров, профилей, высотомера и приборов спутникового позиционирования (GPS) наносились границы выделов, однородных по составу и структуре древесного яруса. Для каждого выдела производилось глазомерное определение основных параметров современных древостоев, а также реконструкция этих параметров на середину и начало XX в. Для определения таксационных характеристик древостоев на начало 1960-х годов, широко использовались изображения на фотоснимках, которые были сделаны 40 лет назад и в 1999–2001 гг. с одних и тех же точек.

При помощи геоинформационной системы ARC/INFO8.0 (ESRI inc., США) составлена электронная тематическая карта состояния древесной растительности для трех временных срезов (1910 г., 1960 г., 2000 г.). В этой системе созданы слои, содержащие информацию только по одной из фитоценолотических категорий лесотундровых древостоев. Такими категориями были сомкнутые леса, редколесья, редины и тундра с одиночными

деревьями. При этом к сомкнутым лесам относились сообщества, сомкнутость крон древесного яруса в которых превышает 40%, а среднее расстояние между деревьями менее 7–10 м., к редколесьям – с сомкнутостью крон 10–40% и средним расстоянием между деревьями от 7–10 до 20–30 м., к редицам – с сомкнутостью крон менее 10% и средним расстоянием между деревьями от 20–30 до 40–50 м.

На основе этих карт произведена количественная оценка климатически обусловленных изменений в составе и структуре елово-лиственничных древостоев и степени облесённости территории в пределах подгольцового пояса.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Изменения климата.** Для территории Полярного Урала характерна очень высокая погодичная и многолетняя изменчивость климатических условий. Наибольшая погодичная изменчивость температуры воздуха наблюдается в зимние месяцы, наименьшая – в июле-сентябре. Погодичная изменчивость осадков в Салехарде еще больше, чем температуры воздуха. Самая большая изменчивость отмечается в летние месяцы, а самая малая – в зимние, когда осадков выпадает меньше всего. Диапазон суммы осадков за год составляет 602 мм (от 136 до 738). По данным метеостанции Салехард средняя температура воздуха летних месяцев (июня-августа) с 1921 по 1999 гг. была на 0,7°C, а зимних (ноябрь-март) на 1,2°C выше по сравнению с периодом 1883–1920 гг. Средняя сумма осадков летнего периода также увеличилась с 147 до 178 мм, а зимнего – с 67 до 113 мм.

**Радиальный прирост.** Средняя величина годовичного радиального прироста за последние 60–80 лет составила  $0,83 \pm 0,41$  мм, которая в предшествующие 60–80 лет была в 4 раза меньше ( $0,21 \pm 0,17$  мм). Стандартное отклонение также увеличилось за это время. Значительно уменьшилась чувствительность радиального прироста на термический режим летних месяцев (от 0,6 до 0,4). Это также свидетельствует об улучшении условий роста.

**Стволовая форма роста.** Молодое поколение деревьев в 60-х годах было представлено в основном стволовой формой роста даже на сильно ветрообдуваемых местообитаниях, в то время как средневозрастное поколение – преимущественно многоствольной. Перестойное поколение представлено стволовой формой роста. Общее количество лиственниц с многоствольной формой роста зафиксированных на профиле в 60-х годах было 328, что составило около 8% от общего количества деревьев. Более 80% таких деревьев имели от 2 до 6 стволов. Однако отдельные деревья имели 10–19 стволов. Эти деревья произрастают преимущественно в верхней части профиля.

За последующие 40 лет количество деревьев с многоствольной формой роста несколько сократилось и составило 267. Часть стволов усохло и хорошо сохранились в виде сухостоя или валежа. По данным дендрохронологических датировок радиального прироста усохших стволов были определены годы их появления и отмирания. На рис. 2 представлена хронология появления и усыхания стволов у деревьев с многоствольной формой роста.

Из рисунка видно, что формирование многоствольных форм (т.е. превращение стланиковых форм в многоствольные) происходило в основном в конце XIX столетия и, особенно, в 20–30-е годы XX столетия, что связано с улучшением климатических условий. Усыхание части этих ство-

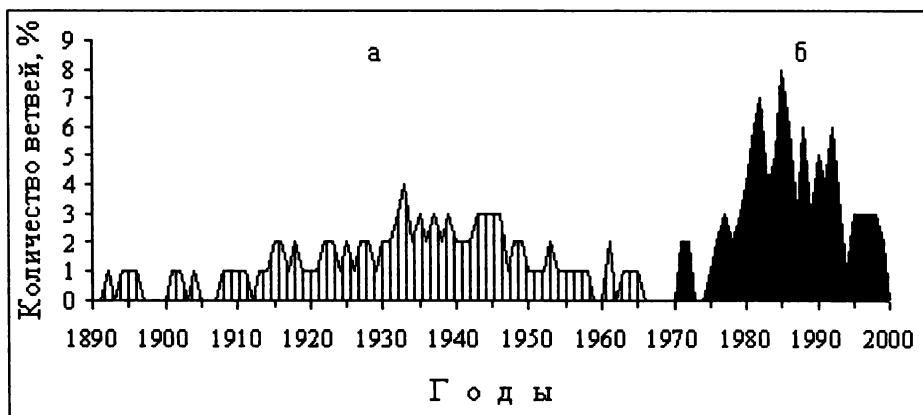


Рис. 2. Время появления (а) и усыхания (б) стволов у деревьев с многоствольной формой роста

лов началось после 80-х годов XX столетия в связи усилением конкуренции за свет и питательные вещества между стволами и кронами в пределах одного клона в связи с значительным увеличением их размеров.

**Возраст-диаметр.** На трех самых крупных выделах, расположенных в верхней, средней и нижней частях профиля были определены возрасты живых деревьев лиственницы на высоте пня. Деревья разбивались на 10 групп по величине диаметра (от 6.5 см до 20 см). В каждой группе было по 12 деревьев. Оказалось, что не существует связи между возрастом деревьев различных групп и их диаметрами. При этом средняя величина прироста у средневозрастного и перестойного поколений практически одинакова.

Средневозрастное поколение, представленное в основном многоствольной формой роста, имеет также сильно изогнутую форму основания ствола.

Возраст этой части ствола не учитывался. На рис. 3 представлен результат такого анализа для выдела 5, расположенного в верхней части профиля.

После определения возраста изогнутой части ствола у отдельных деревьев средневозрастного поколения получили добавку в возрасте на 50–70 лет. Это свидетельствует о том, что это поколение в самом начале имело стелющуюся форму роста из-за неблагоприятных климатических условий.

**Изменение стволовой массы.** На основе повторных пересчетов на постоянном профиле были получены точные количественные данные об изменении различных таксационных характеристик древостоев за последние 40 лет. На рис. 4

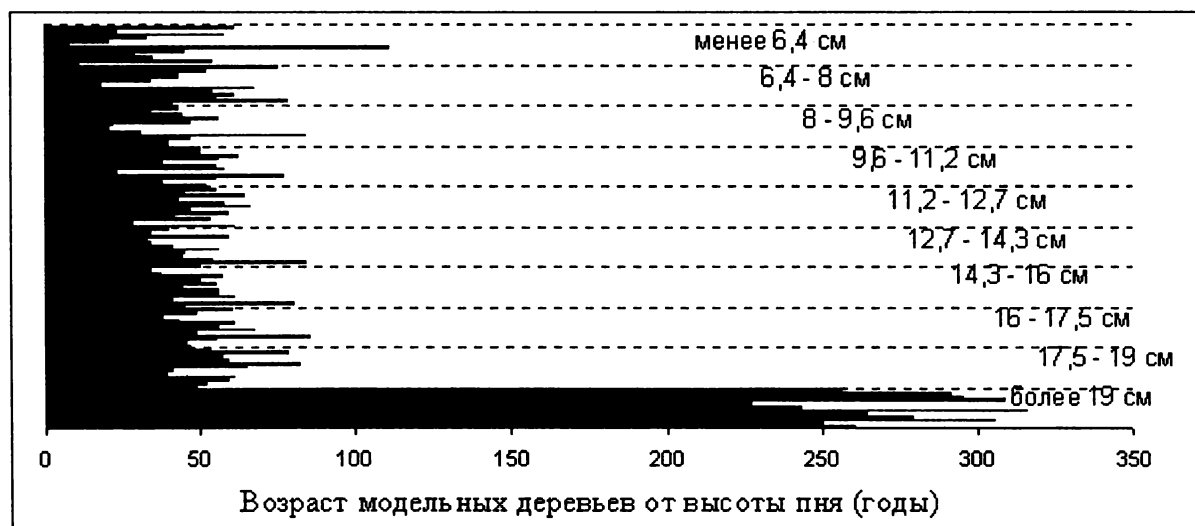


Рис. 3. Распределение возраста живых деревьев на высоте пня в зависимости от их диаметра (указаны справа)

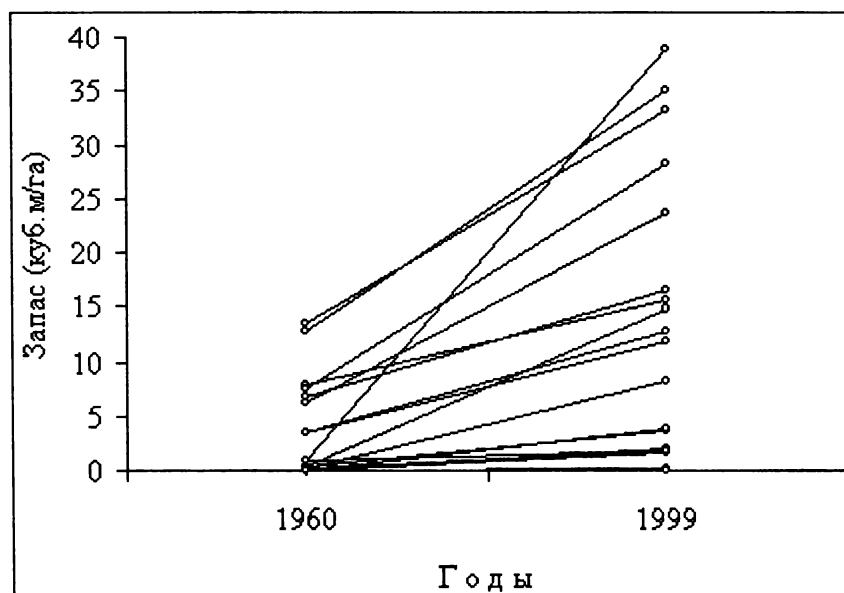
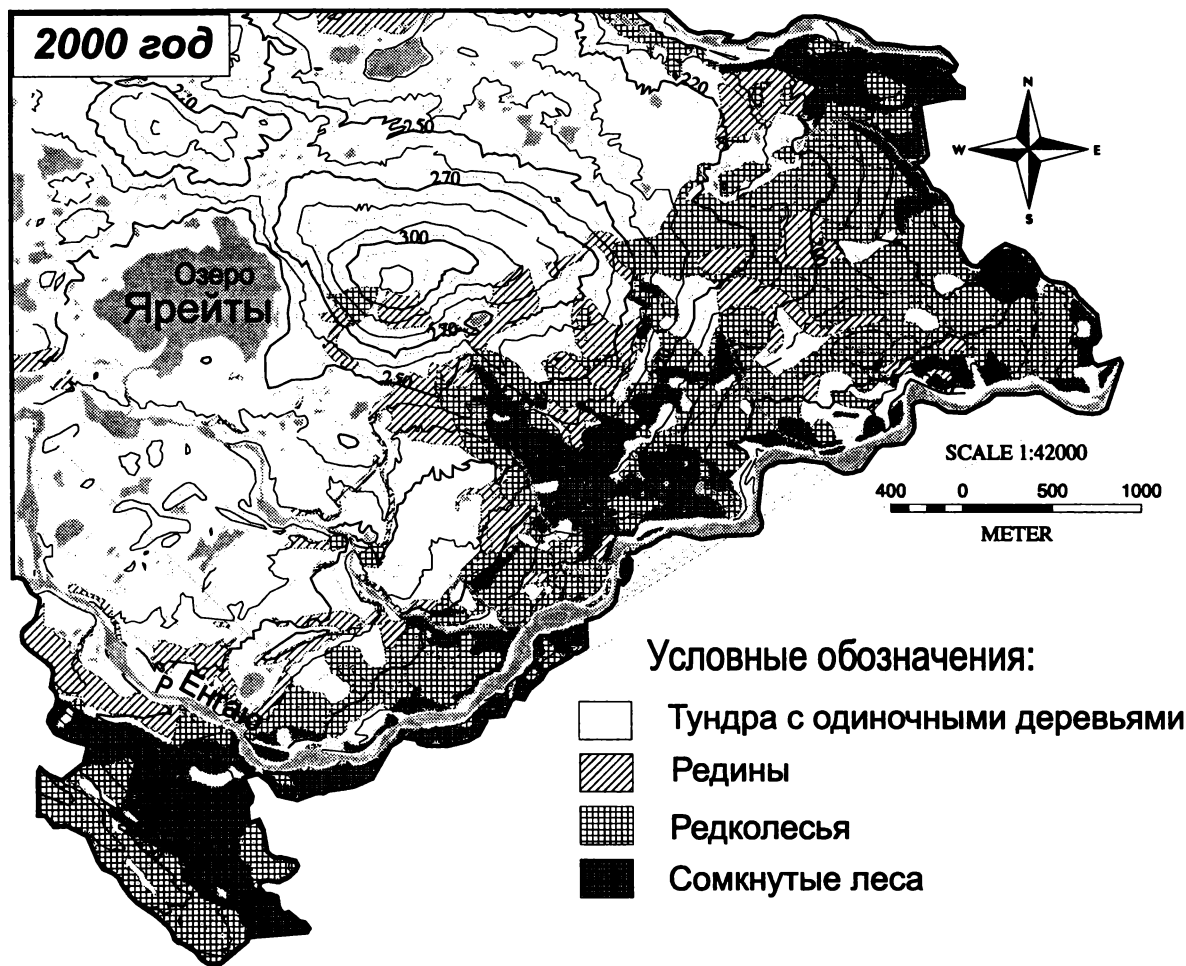


Рис. 4. Изменение стволовой фитомассы на выделах профиля с 1960 по 2000 гг.

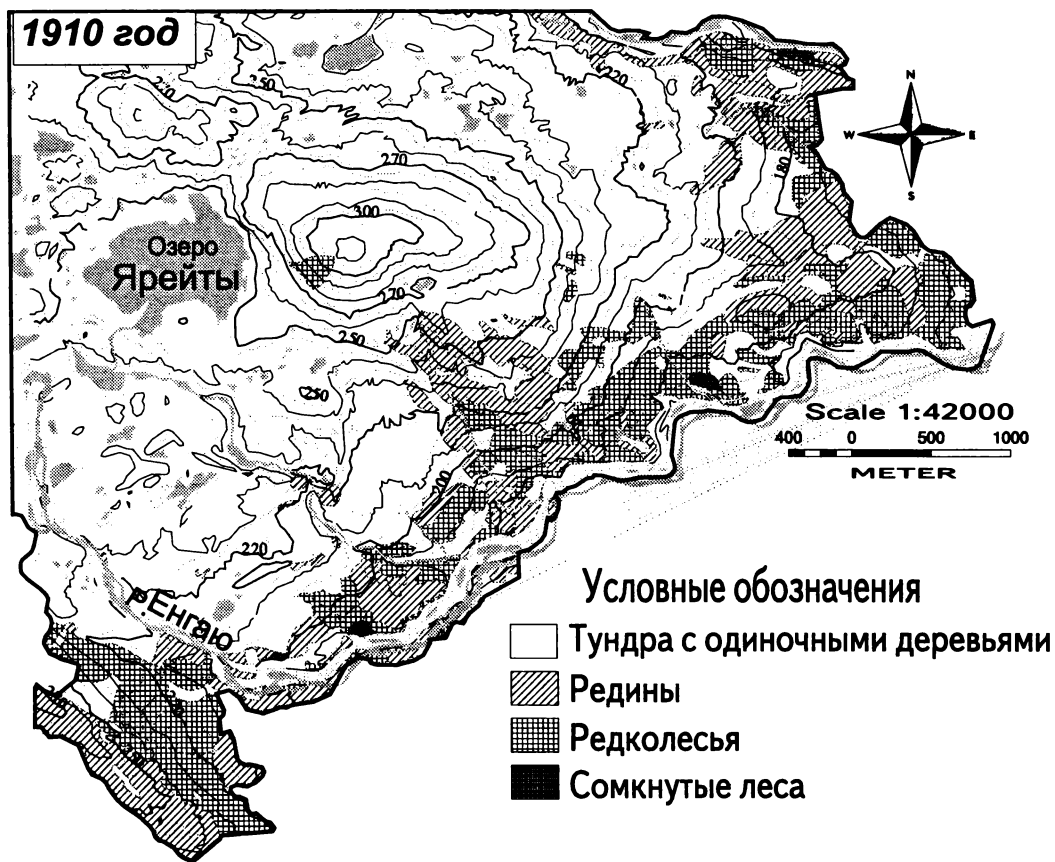
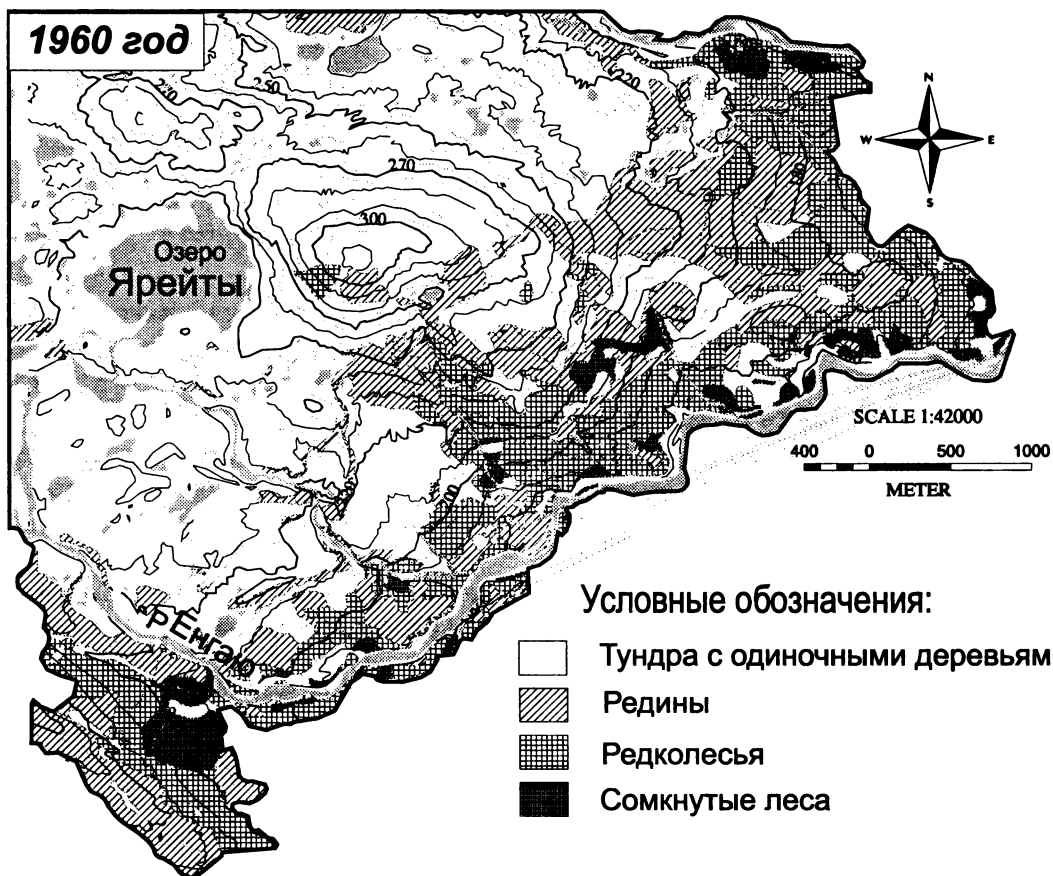
приведены данные об изменении объема стволовой древесины живых деревьев в различных выделах. Как видно из рисунка объем стволовой массы живых деревьев на разных выделах профиля увеличился в 2–5 раз за последние 40 лет. На отдельных выделах, безлесных в 60-х годах участка профиля, это увеличение оказалось еще выше. Эти результаты показывают сильное увеличение продуктивности древостоев за столь короткий промежуток времени. Таким образом, в течение последних 80–90 лет на Полярном Урале происходило интенсивное расселение лиственницы сибирской и ели сибирской, которое привело к значительному облесению тундровых сообществ, расположенных в пределах лесотундрового экотона. Особенно интенсивным лесовозобновление

было на площадях, которые были обеспечены семенным материалом (вблизи отдельно стоящих деревьев и опушек древостоев, под пологом редин и редколесий).

**Пространственно-временная динамика древостоев.** На рис. 5 показаны три фрагмента электронных карт (площадь картирования – 18,7 км<sup>2</sup>), показывающие распределение площадей фитоценологических типов лесотундровых экосистем на начало (а), середину (б) и конец (в) XX столетия. В связи с тем, что эта территория испытывает воздействие сильных западных ветров, то большие площади заняты тундрами с одиночно растущими деревьями, а верхние границы редин, редколесий и сомкнутых лесов проходят на удалении 4–5 км к востоку от основного хребта.



**Рис. 5.** Распределение различных фитоценологических типов лесотундровых экосистем в междуречьи рек Енгаю и Кэрдманшор в начале, середине и конце XX века





Анализ карт и таблицы показывает, что в течение последних 80–90 лет на Полярном Урале происходила интенсивная экспансия древесной растительности. Если площадь, занятая тундрой с одиночными деревьями и рединами сократилась за это время на 21 и 35% соответственно, то площадь редколесий увеличилась на 68%. Особенно резко возросла площадь, занятая сомкнутыми лесами (с 5 до 225 га, или в 45 раз). Лесистость территории (включая сюда лишь сомкнутые леса и редколесья) увеличилась с 233 га (12%) до 404 га (22%). Верхний предел распространения редины, редколесий и сомкнутых лесов продвинулся выше в горы до 1,5–2 км по пологим склонам и до 60–80 м по высоте. Сомкнутость крон, густота и фитомасса древостоев увеличилась в среднем в 2–4 раза. На основе повторных пересчетов на постоянном профиле были получены точные количественные данные об изменении различных таксационных характеристик древостоев за последние 40 лет. В табл. 1 приведены результаты вычислений площадей четырех типов лесотундровых экосистем.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории Полярного Урала данные об изменении термического режима летних месяцев и режиме увлажнения в течение последних 80–90 лет приводились ранее (Briffa et al., 1995; Vaganov et al., 1999). На основе данных о радикальном приросте деревьев показано значимое увеличение летних температур воздуха в субаркти-

ческих районах в XX столетии за тысячелетний период. Увеличение количества зимних осадков привело к смещению сроков вегетации и уменьшению корреляции между ростом и температурой воздуха. В результате таких изменений климата на Полярном Урале произошли большие изменения в степени облесенности территории, составе и структуре елово-лиственничных редколесий и высотном положении верхней границы леса, произошедшими за последние 80–90 лет (Шиятов, 2000). Степень облесенности в пределах подгольцового пояса возрасла не менее, чем на 30%, а сомкнутость крон и густота древостоев в 2–3 раза. Результаты по изменению характеристик притундровых редколесий на Полярном Урале, полученные в данной работе, хорошо согласуются с вышеупомянутыми. Полученный материал представляет уникальную возможность непосредственно оценить изменение в продуктивности различных фракций фитомассы древостоев за прошедшие 40 лет. На создаваемом Полярноуральском полигоне постоянные профили и пробные площади послужат эталонными участками для оценки изменения структуры и продуктивности притундровых редколесий на огромной территории от р. Макара-Рузь на юге до р. Бол. Ханмей на севере, на протяжении 110 км. Полученные данные являются прямыми оценками динамики притундровых редколесий и могут быть использованы для построения моделей реакции лесотундровых экосистем на изменения климата, а также моделей запасов фитомассы и депонирования углерода. ❖

Таблица 1

*Распределение площадей, занятых различными фитоценоотическими типами лесотундровых экосистем, в начале, середине и конце XX в.*

Типы лесотундровых экосистем	Начало 1910-х годов		Начало 1960-х годов		Конец 1990-х годов	
	га	%	га	%	га	%
Тундра с одиночными деревьями	1398	100	1167 (-231)	83	1108 (-290)	79
Редины	239	100	342 (+103)	143	155 (-84)	65
Редколесья	228	100	292 (+64)	128	382 (+154)	168
Сомкнутые леса	5	100	69 (+64)	1380	225 (+220)	4500

**ЛИТЕРАТУРА.**

- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 246 с.
- Мазепа В.С. Погодичная реконструкция средней летней температуры воздуха на севере Западной Сибири с 1690 г. на основе данных о радиальном приросте деревьев // Сибирский экологический журнал. – 1999а. – № 2. – С. 175–183.
- Мазепа В.С. Влияние осадков на динамику радиального прироста хвойных в субарктических районах Евразии // Лесоведение. – 1999б. – № 6. – С. 15–22.
- Мазепа В.С. Дендроклиматическая реконструкция летней температуры воздуха с 1690 года в Субарктических районах Сибири. - Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Том XVII, 2000. – С. 170–187.
- Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата. Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 267 с.
- Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Климат // Природа Ямала. – Екатеринбург, 1995. – С. 32–68.
- Шиятов С.Г. Климатогенная динамика подгольцовых редколесий на Полярном Урале В XX столетии. Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды: Тезисы докладов всероссийского совещания, 25–29 сентября, Иркутск – 2000. – С. 109.
- Briffa K. R., Jones P. D. Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 2. Implications for large-scale high-frequency palaeoclimatic studies // The Holocene. – 1993. No 3. – P.77–88.
- Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., Shiyatov S. G., Cook E. R. Unusual twentieth-century summer warmth in a 1,000-year temperature record from Siberia // Nature, Vol. 376, 13 July 1995, pp. 156–159.
- Graybill D. A., Shiyatov S. G. Dendroclimatic evidence from the northern Soviet Union // Climate Since A.D. 1500. – Routledge; London; New York, 1992. – P. 393–414.
- Shiyatov S. G. The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural Mountains // Oscillations of the Alpine and Polar Tree Limits in the Holocene Gustav Fischer Verlag: Stuttgart; Jena; New York, 1993. – P. 195–203.
- Shiyatov S. G. Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains // Intern.Conf. on Past, Present and Future Climate: Proc. of the SILMU conf. – Publications of the Academy of Finland, Helsinki, 1995. – No. 6. – P. 144–147.
- Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirdyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature, Vol. 400, 8 July 1999, pp. 149–151.