

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 551.797+581.524.32

МНОГОВЕКОВЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ ТРАНСФОРМАЦИИ КЕДРОВНИКОВ В РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ ЗОНАХ ГОР ЗАПАДНОГО САЯНА

А. Д. Кошкарров, В. Л. Кошкарлова, Д. И. Назимова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: kosshkarov.al@ksc.krasn.ru, kosshkarova.vl@ksc.krasn.ru, inpol@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2020 г.

В статье освещены результаты палеоботанического изучения торфяных отложений в разных лесорастительных зонах и типах местообитаний Западного Саяна, где в настоящее время сосна сибирская кедровая (сибирский кедр) *Pinus sibirica* Du Tour является доминантом. На основании палеокарпологического и радиоуглеродного анализов реконструированы изменения растительности, климата и ландшафтов от 8000 лет назад до современности. Материалом для исследования стали макроостатки ископаемых растений. Изменения видового состава макроостатков доминантных видов растений в каждом разрезе позволили объединить их в макрокомплексы, каждый из которых характеризует определенное время и ландшафтно-климатический режим. Построены карпограммы с детальной характеристикой ископаемых макрокомплексов по видовому составу для четырех разрезов. При анализе морфолого-анатомических особенностей каждого ископаемого объекта по степени сохранности проведена дифференциация их на две группы растений – локальную, отражающую особенности местообитания (фации), и сопредельную, характерную для более крупного территориального комплекса (палеоландшафта). Их сочетание дает представление о смене ландшафтной обстановки в ходе многовековых изменений климата. В каждой группе определяли эдификатор и доминанты прошлых фитоценозов, зафиксированных макрокомплексами ископаемых с использованием метода эколого-ценотического анализа. Установлена динамика состава и фитоценотической структуры растительных сообществ, сменяющих друг друга в ходе тысячелетней истории. Дана количественная оценка климатической обстановки, обуславливающей их смену в разные климатические эпохи. Установлено неоднократное смещение верхней границы леса при сопряженных изменениях температуры и атмосферного увлажнения, проявившихся одновременно на территориях исследования. На примере кедровой формации, представленной в разных лесорастительных районах тремя разными климатическими фациями кедровников, показано, что в каждой из них при общих для гор тенденциях изменения климата (потепления или похолодания, а также изменения атмосферного увлажнения) многовековые смены сообществ имели свою специфику.

Ключевые слова: кедровники Западного Саяна, реконструкция растительности, климат, голоцен, макроостатки, геохронология.

DOI: 10.15372/SJFS20210201

ВВЕДЕНИЕ

Проблема эволюционных преобразований растительного покрова в связи с изменением климата решается авторами данной работы в русле идей, методологии и методов палеогеографии и палеоэкологии. Реконструкция состава лесов в

прошлом и его динамики в течение тысячелетий на фоне климатических изменений дает возможность многое понять об устойчивости каждого из лесообразователей Сибири в конкретных природных зонах и ландшафтах. Это ключ к пониманию их потенциальной устойчивости. Сосна сибирская кедровая (сибирский кедр) *Pinus*

sibirica Du Tour как лесообразователь формации кедровников имеет широкое распространение в горах на юге Сибири, в частности в Западном Саяне. Ценность кедровых лесов, как известно, не только в лесосырьевых, но и в первую очередь в природоохранительных, экологических функциях (Семечкин и др., 1985). В последние годы появились работы, в которых сделана попытка прогноза состава лесов в связи с глобальными изменениями климата. Формации кедров и лиственницы *Larix sibirica* Ledeb. сибирских, сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., смешанных темнохвойных лесов (пихта *Abies sibirica* Ledeb., ель *Picea obovata* Ledeb. и кедр сибирские) приводятся как объекты моделирования на мелко-масштабных картах, построенных с учетом современного распространения их на территории Западной и Средней Сибири, а также в горах Алтае-Саянской области (Tchebakova et al., 1994, 1995, 2011; Soja et al., 2007; Бляхарчук, 2011 и др.) Для целей прогноза авторы опираются на известные климатические модели глобальной циркуляции атмосферы CLIMA и строят схемы ординации и картосхемы потенциального ареала формаций, в том числе кедровников. Эти первые прогнозы не могут дать реальной картины будущего, но являются поисковыми и стимулируют исследования экологического и лесоводственно-географического плана.

Оценка особенностей влияния эколого-географических условий на организацию фитоценотической структуры регионального растительного покрова как одного из компонентов геосистем является определенным информационным вкладом в повышение качества прогноза изменений природной среды. Такая информация выявляет не только динамику пространственной дифференциации типов растительности, но и механизмы трансформации их структуры в долговременной ретроспективе под воздействием различных внешних факторов, в первую очередь климата. Изменение состояния растительного покрова в горах нагляднее проявляется на границе высотных поясов вследствие небольшой протяженности переходных зон. Для юга Средней Сибири горная система Западный Саян в этом отношении имеет важное значение для понимания таких преобразований. Здесь проходит пространственный экотон глобального ранга, где абсолютное преобладание принадлежит лесным сообществам и редколесьям, не нарушенным или слабо затронутым антропогенным влиянием, что позволяет выявлять закономерности естественной эволюции природных геосистем.

Кроме того, реконструкция лесного покрова регионального уровня, основанная на современных связях климат–растительность, необходима для прогноза и оценки риска деградации отдельных видов лесообразователей, а также видов-доминантов нижних ярусов.

Цель исследования – провести анализ многовековой динамики кедровых лесов в разных лесорастительных зонах и местообитаниях (фациях). В задачи входило: выполнить реконструкцию изучаемых сообществ (и ландшафтов) по ископаемым макроостаткам, выявить последовательность смен лесных фитоценозов и формаций и дать количественную оценку климатических условий их существования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для получения материала исследования на базе лесотипологического районирования гор Южной Сибири (Смагин и др., 1980) определяли ключевые участки, более полно характеризующие доминирующие типы растительности высотных поясов Западного Саяна по климатическому признаку. На них рекогносцировочно выбирали точки, перспективные для отбора голоценового палеоботанического материала. Далее на каждой точке исследования проводили таксационно-геоботаническое описание, закладку разреза в минералогенных и торфяных отложениях с последующим отбором образцов на палеокарпологический и радиоуглеродный анализы.

В данной работе представлены результаты палеоботанического исследования четырех разрезов, заложенных в разных лесорастительных зонах и климатических фациях горных лесов (Поликарпов и др., 1986), где кедр является одним из основных эдификаторов лесных формаций.

Ареал первой климатической фации горных лесов (куда территориально входит северо-восточная часть Западного Саяна) объединяет группы районов с избыточно влажным циклоническим режимом, где абсолютное господство принадлежит темнохвойным лесам из пихты и кедров сибирских. По растительности, абсолютным высотам и степени теплообеспеченности они разделяются на три высотно-поясных комплекса (ВПК): черневой кедрово-пихтовый (400–900 м), горно-таежный пихтово-кедровый (850–1350 м) и субальпийский пихтово-кедровых редколесий и лугов (1350–1800 м). Вторая климатическая фация представлена в районах осевой части Западного Саяна с влажным цикло-

ническим режимом, где абсолютное господство принадлежит типичной темнохвойной бореальной тайге. Низкогорье и нижний пояс среднего-горий заняты горно-таежными светлохвойными формациями (700–1000 м), а выше до 1500 м господствуют горно-таежные кедровые леса, переходящие в высокогорьях (1500–1800 м) в подгольцово-таежные кедровники. Третья климатическая фация (в нашем исследовании территориально западная) объединяет группы районов с умеренно влажным циклоническим режимом, где абсолютное господство в низкогорье (частично и в среднегорье) принадлежит светлохвойным подтаежным и лесостепным формациям. А с высоты 1000 м и более произрастают горно-таежные кедровые леса, переходящие в высокогорьях (1600–1900 м) в подгольцово-таежные кедровые с примесью лиственницы сибирской.

Материалом для исследования послужили макроостатки ископаемых растений (семена, плоды, вегетативные части растений, обломки и угольки древесины и др.), извлеченные из голоценовых отложений. Данные видового состава макроостатков доминантных видов растений в каждом разрезе позволили разделить их на макрокомплексы по основным эдификаторам. Каждый макрокомплекс характеризует свой ландшафтно-климатический режим, который соответствует определенному временному интервалу, отмеченному на карпограммах римскими цифрами (рис. 1–4). Определение возраста их границ выполнено с помощью графического метода линейной интерполяции и использования полученных для разрезов радиоуглеродных дат по ^{14}C (показаны на рис. 1–4).

Процедура обработки палеокарпологических данных проводилась с позиций лесоведения по общепринятой методике (Никитин, 1969) с дополнениями авторов применительно к голоцену, что подробно показано в предыдущих публикациях (Кошкар, 1998; Кошкар и др., 2006; Koshkarova et al., 2006).

Отметим, что объектами палеокарпологии становятся только те остатки видов растений, которые были типичны и доминировали в прошлых фитоценозах (Никитин, 1979). Особенностью применяемого авторами метода является то, что индивидуально изучается анатомо-морфологический облик каждого ископаемого объекта. Поскольку голоценовым макроостаткам свойственна хорошая физиономичность, то помимо видовой идентификации выполнено дифференцирование их на группы удаленности от

материнского фитоценоза. Если судить по составу изученных ранее субрецентных макрокомплексов гор Восточного и Западного Саянов (Кошкар и др., 2006, 2016; Koshkarova et al., 2006), то в каждом ископаемом макрокомплексе присутствуют остатки видов растений и локальных, и привнесенных с прилегающей выше территории. Это хорошо диагностируется и ранжируется по наличию следов транспортировки на поверхности ископаемых объектов. По этому же признаку установлено, что во всех макрокомплексах преобладают локальные остатки вегетативных частей растений. Таким образом удалось реконструировать два соседствующих ВПК. Выявление эдификаторов и доминантов в прошлых растительных сообществах разного гипсометрического уровня проводили с использованием метода эколого-ценотического анализа (Молокова, Назимова, 1991), применяемого при фитоиндикации современных лесных экосистем. И здесь наиболее четким показателем преобразований, происходящих в растительном покрове, был видовой состав травяно-кустарничкового яруса, поскольку комплекс растений точнее индицирует условия произрастания, чем отдельные виды, и является наиболее мобильным структурным компонентом, быстрее реагирующим на различные флуктуации природной среды (Степанов и др., 2003).

Основным актуалистическим источником палеоклиматических реконструкций вследствие недостаточности наземных метеонаблюдений стали материалы обобщающей сводки Н. П. Поликарпова с соавт. (1986), содержащей современные климатические характеристики высотных поясов растительности. Поэтому количественные параметры и градиенты палеоклимата определяли путем усреднения современных показателей годовых сумм осадков и температуры выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в соответствии с абсолютной высотой и аналогичным растительным сообществом (Справочник..., 1966, 1969; Смагин и др., 1980), существовавшим в определенные отрезки времени в окружении разреза. При восстановлении растительного покрова для корреляции использовали и данные палинологии (Савина, 1976; Ямских и др., 2008; Бляхарчук, 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам анализа палеоботанического материала для каждого разреза построены карпограммы, отражающие изменения видового состава комплексов макроостатков растений по

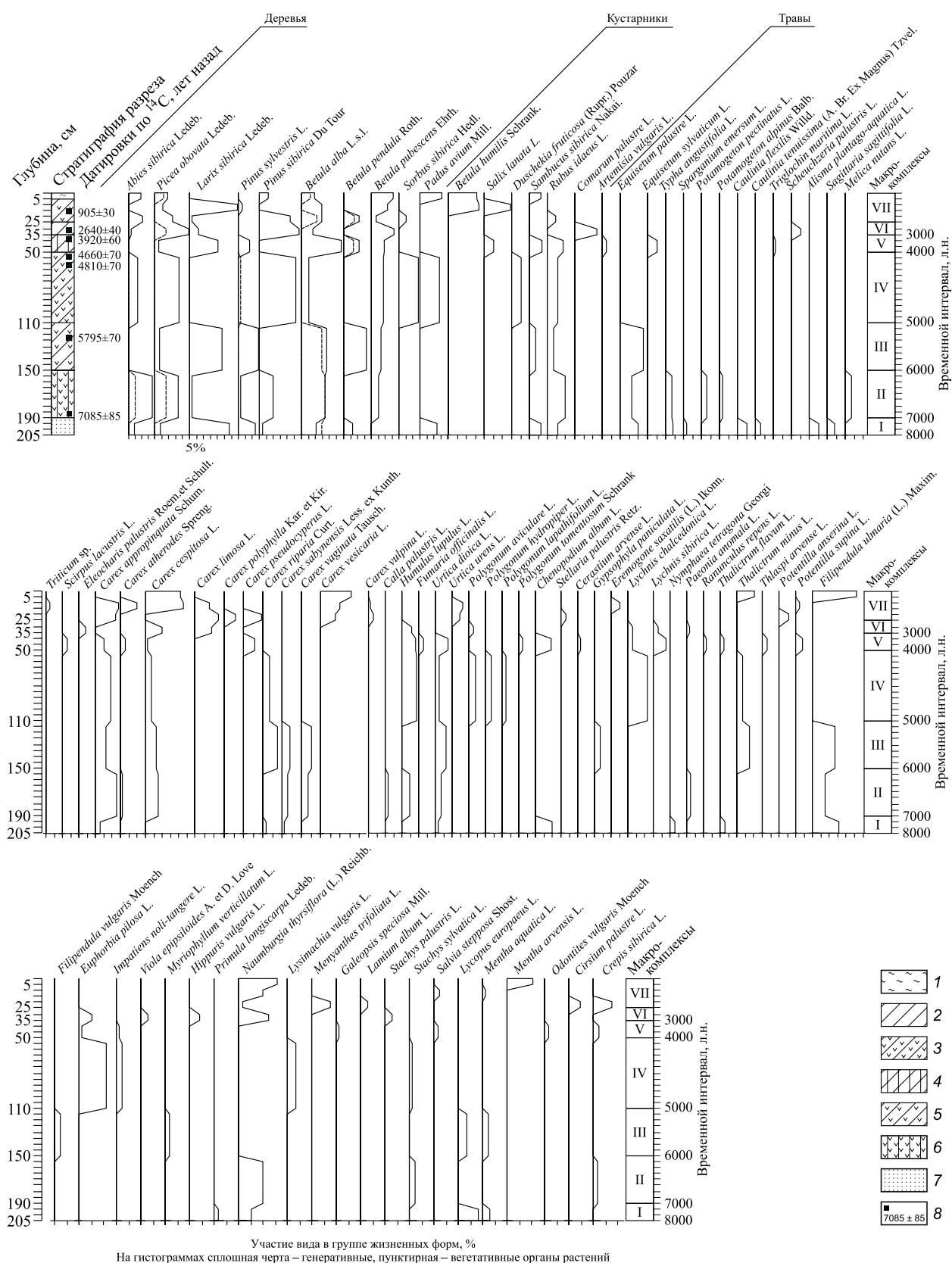
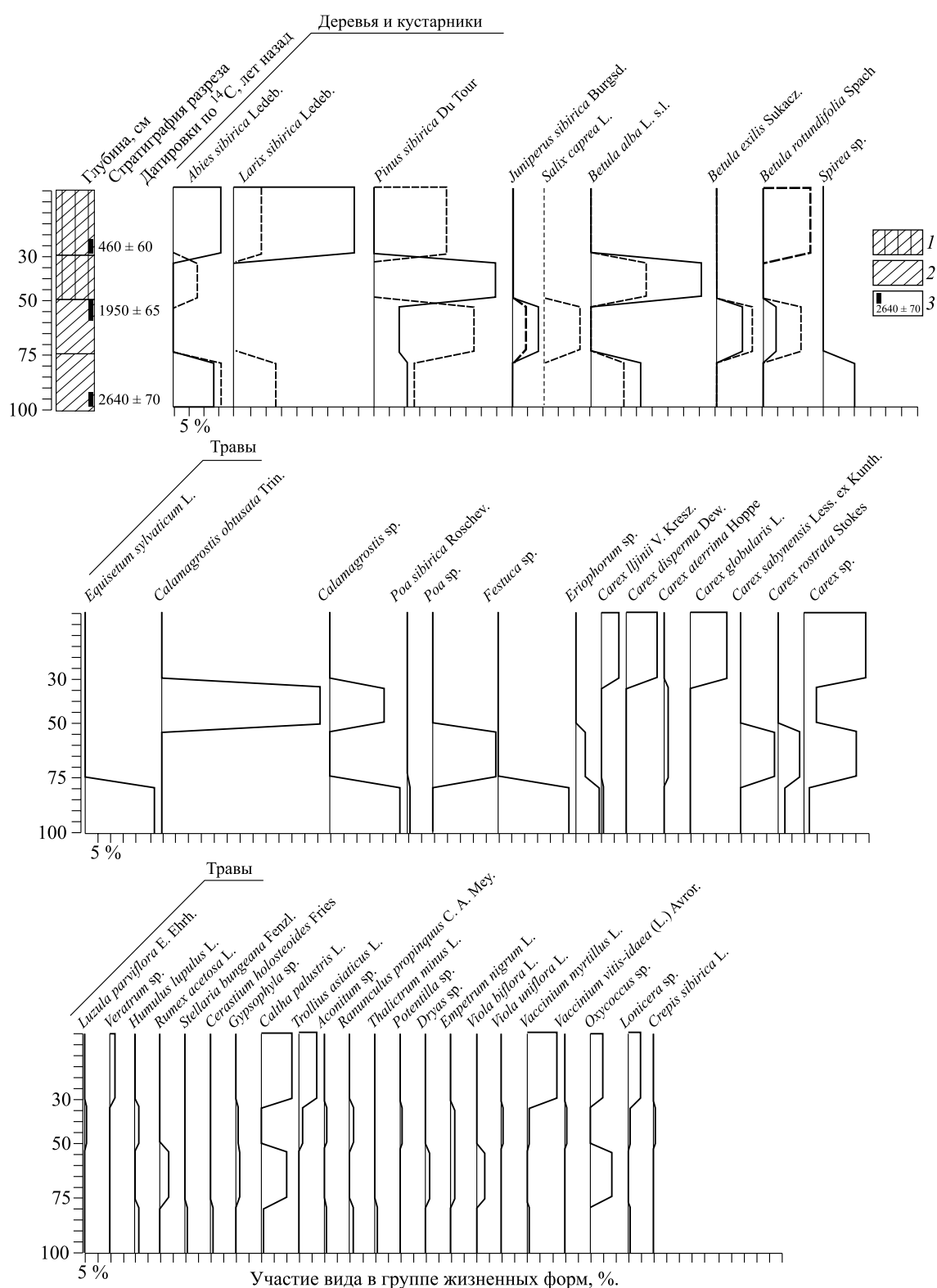


Рис. 1. Карпограмма разреза «Черный Танзыбей», высота над ур. м. 350 м. Виды отложений: 1 – очес. торфа; 2 – травяно-осоковый; 3 – осоковый; 4 – осоково-древесный; 5 – радиоуглеродные датировки по ^{14}C .



На гистограммах сплошная черта – генеративные, пунктирная – вегетативные органы растений

Рис. 2. Карпограмма разреза «Ойское», высота над ур. м. 1400 м. Виды отложений торфа: 1 – древесно-осоковый; 2 – осоковый; 3 – радиоуглеродные датировки по ^{14}C .

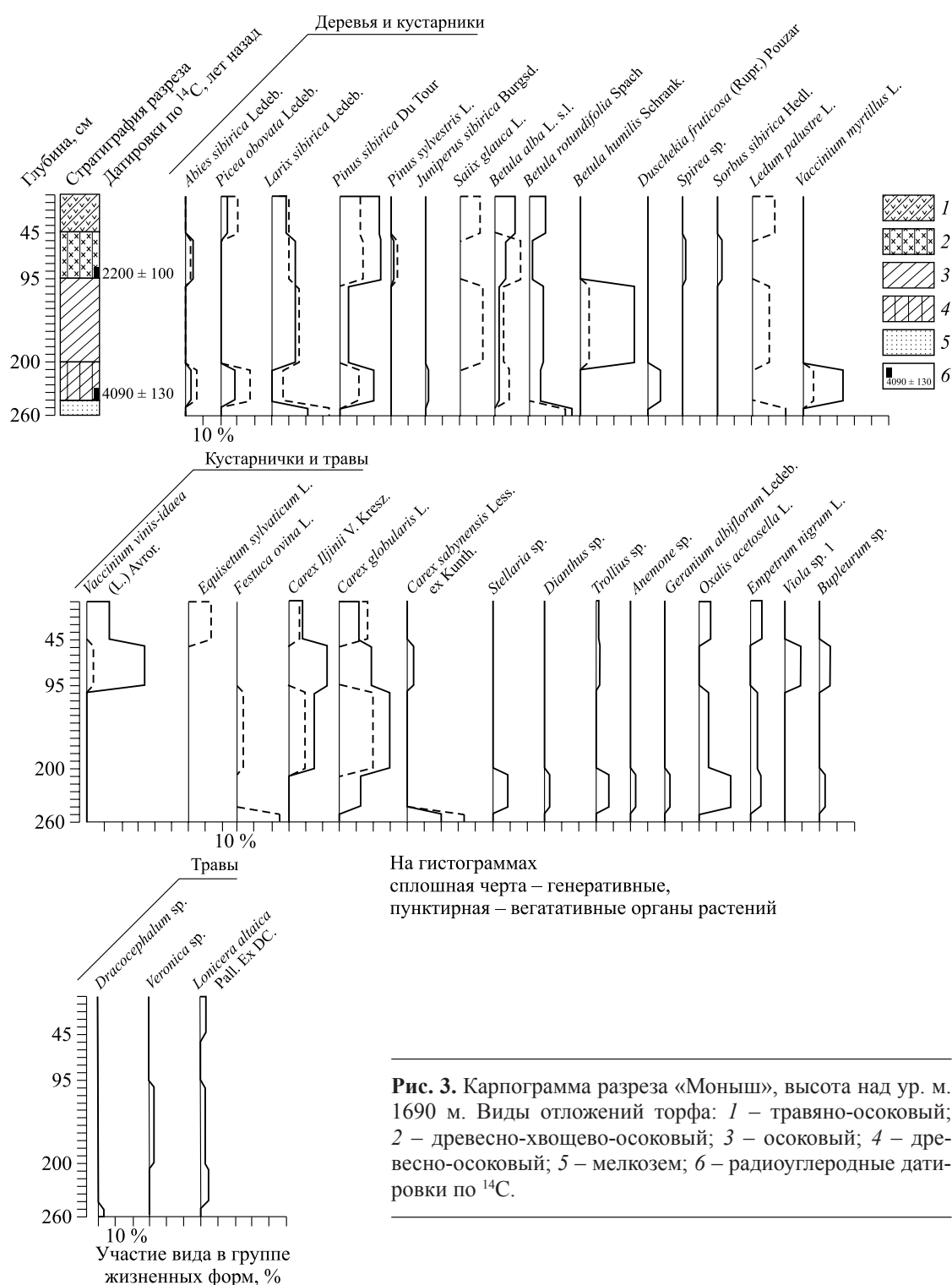


Рис. 3. Карпограмма разреза «Моныш», высота над ур. м. 1690 м. Виды отложений торфа: 1 – травяно-осоковый; 2 – древесно-хвощево-осоковый; 3 – осоковый; 4 – древесно-осоковый; 5 – мелкозем; 6 – радиоуглеродные датировки по ^{14}C .

временным отрезкам голоцена и, следовательно, динамику биоразнообразия прошлых фитоценозов (см. рис. 1–4). Первые две карпограммы в совокупности отразили динамику всего спектра высотных поясов горных лесов избыточно влажной фации, охватив, согласно радиоуглеродному датированию, немногим более 7000-летний отрезок времени голоцена. Палеокарпологический материал получен из выкопан-

ных шурфов торфяных залежей в двух точках, первая из которых – заболоченная Танзыбейская котловина, облесенная березой пушистой *Betula pubescens* Ehrh. и расположенная в нижнем поясе светлехвойных лесов (см. рис. 1, разрез «Черный Танзыбей», абс. высота 350 м над ур. м., 53°5'10" с. ш., 92°55'32" в. д.). Вторая точка находится на заболоченной террасе оз. Ойское, абс. высота 1400 м над ур. м. (см. рис. 2, разрез

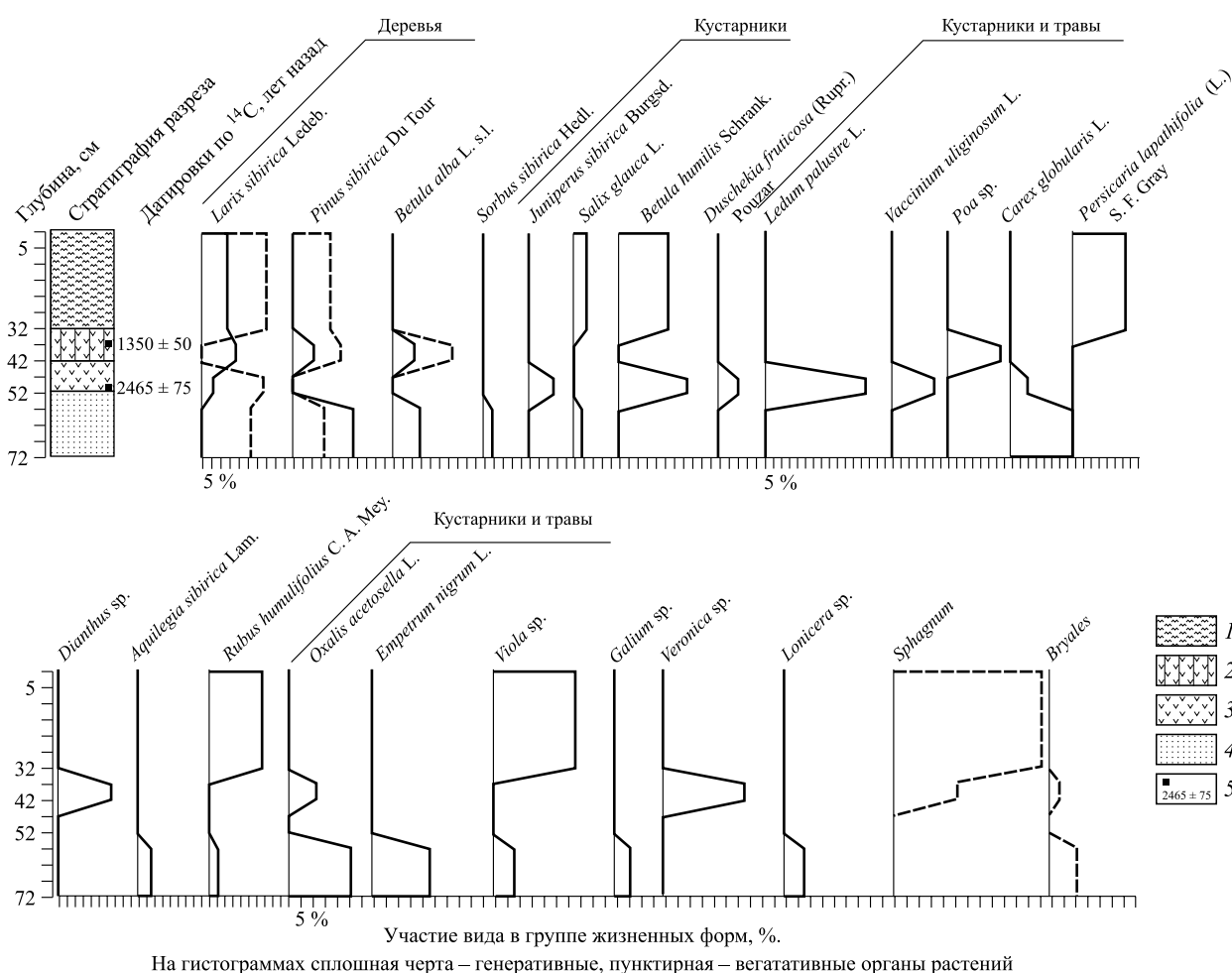


Рис. 4. Карпограмма разреза «Ак-Суг», высота над ур. м. 1800 м. Виды отложений торфа: 1 – сфагновый; 2 – древесно-травяной; 3 – травяной; 4 – мелкозем; 5 – радиоуглеродные датировки по ^{14}C .

«Ойское», $52^{\circ}50'00''$ с. ш., $93^{\circ}14'46''$ в. д.). Более подробно рассмотрим процедуру палеокарпологического анализа одного из образцов разреза «Черный Танзыбей», которые отбирали через каждые 10–15 см в соответствии со стратиграфией отложений.

В локальной группе комплекса макроостатков самого раннего возраста (время, предшествующее 7000 л. н.), полученных из подстилающей торфяную залежь гиттии, среди древесных пород господствуют семена лиственницы сибирской, орешков и чешуек женских сережек березы повислой *Betula pendula* Roth, довольно много костянок черемухи обыкновенной *Prunus padus* L. Примечательно участие немногочисленных семян пихты, ели и кедра сибирских. Кустарники представлены семенами бузины сибирской *Sambucus sibirica* Nakai. Среди остатков травянистых растений преобладают водные, из которых заслуживают внимания семена двух наяд – гибкой *Najas flexilis* (Willd.) Rostk. et W. L. E. Schmidt и тончайшей *N. gracillima*

(A. Braun ex Engelm.) Magnus, обитающих в пресных и слабосоленых водоемах лесостепи и степи Сибири, находки которых в настоящее время единичны, причем последний вид отмечен только в верховьях Иртыша в степной зоне (Флора..., 1976). Следует отметить присутствие семян первоцвета длиннострелкового *Primula longiscapa* Ledeb., характерного в настоящее время для засоленных лугов лесостепной зоны (Флора..., 1969). Незначительно участие обычных для юга Сибири болотных осок *Carex* spp. разных видов. Заслуживает внимания также участие орешков василистника желтого *Thalictrum flavum* L. – неморального вида, обитающего рассеянно главным образом на юге Сибири в освещенных лесах, по берегам рек и озер (Флора..., 1965).

В соседствующей группе ископаемого макрокомплекса из древесных остатков преобладают семена сосны обыкновенной, обескрыленные орешки и кора березы высокоствольной *Betula alba* L. s. l. (сборный вид), единичны се-

мена лиственницы сибирской. Кустарники представлены костянками малины обыкновенной *Rubus idaeus* L. Из трав присутствуют орешки василистника малого *Thalictrum minus* L. и семена мари белой *Chenopodium album* L.

В целом видовой состав макрокомплекса восстанавливает следующую картину растительного покрова: нижний пояс представлял собой лесостепь березово-лиственничную с чередованием мелководных теплых озер, по берегам которых единично росли пихта с елью и кедром сибирскими, а современный черневой пояс был занят подтаежными лиственнично-сосновыми лесами с лиственницей сибирской и сосной обыкновенной.

Подобным образом проанализирован каждый ископаемый макрокомплекс изученных разрезов. На основании детального изучения палеоботанического материала двух разрезов эволюция растительного покрова северо-восточной части Западного Саяна восстанавливается по семи возрастным уровням начиная с середины атлантического периода хронологической схемы голоцена Блитта-Сернандера в ее последней модификации (Хотинский, 1977) или для последних 7000 лет климатического оптимума голоцена Сибири периодизации Н. В. Кинда (1974) (табл. 1).

Установленный дифференцированный видовой состав эколого-ценотических спектров макроостатков, подтвержденный радиоуглеродным датированием, охарактеризовал динамику доминирующих лесных сообществ и цено типов древесных пород для конкретных гипсометрических уровней горных лесов избыточно влажного сектора Западного Саяна, которая не противоречит общей эволюции голоценовых лесных формаций, выявленной по спорово-пыльцевым данным для этой территории (Савина, 1976; Ямских и др., 2008; Бляхарчук, 2011).

До 7000 л. н. в предгорной части была распространена луговая степь с чередованием мелководных озер. У подножия гор господствовала лесостепь с лиственницей сибирской и березой повислой в колках. Пихта, ель и особенно кедр сибирские образовывали леса на более высоких уровнях горно-таежного пояса Западного Саяна. Позднее (до 6000 л. н.) в связи с наступившим похолоданием произошло расширение темнохвойного пояса и его нижняя граница сдвинулась в сторону современной подтайги.

В климатический оптимум (6000–5000 л. н.) основными лесообразователями на территории исследования стали лиственница сибирская, со-

сна обыкновенная и береза пушистая. Темнохвойные отступили на большие абсолютные высоты. В конце оптимума (5000–4500 л. н.), во время которого господствовали кедровые леса, фиксируется расширение темнохвойного пояса в котловину. Подобное повторилось в отрезке 3000–2000 л. н. Этому способствовало похолодание климата.

Для самого позднего отрезка времени в интервале 2000–1000 л. н. характерно сокращение лесистости на рассматриваемой территории, на что указывает участие в травяном покрове представителей остепненных лугов, луговых степей – шалфея степного *Salvia stepposa* Des.-Shost., пустынницы скальной *Eremogone saxatilis* (L.) Ikonn. и рудеральных сорняков – лапчатки низкой *Potentilla supina* L., крапивы жгучей *Urtica urens* L., усиление позиций светлохвойных и мелколиственных лесов, отступление нижней границы темнохвойных лесов в горы. Эти трансформации обусловлены не только аридизацией климата, но и интенсивностью антропогенной нагрузки, уже в это время оказываемой на лесной покров в низкогорье северного макросклона Западного Саяна. О подобной картине в пределах этого отрезка времени говорят и палинологические данные для природного парка «Урочище Ергаки» (1299 м над ур. м.), расположенного в горно-таежном пихтово-кедровом поясе Западного Саяна (Бляхарчук, 2011).

Отбор палеоботанического материала для изучения особенностей развития растительности во влажных лесорастительных условиях осуществлен в подгольцово-таежном поясе, где сибирский кедр формирует верхнюю границу леса. Разрез заложили в верховьях р. Б. Она у восточной части подножия хр. Моныхш (51°47'08" с. ш., 89°48'27" в. д., осевая часть Саянского хребта). Видовой состав ископаемых макрокомплексов отражен на карпограмме (см. рис. 3, разрез «Моныхш»). Его анализ позволил выделить эколого-ценотические спектры прошлых лесных фитоценозов разного гипсометрического уровня для каждого временного отрезка позднего голоцена. На этой основе определена динамика трансформаций структуры поясных типов растительности, обусловленная главным образом циклами климатических изменений за последние 4000 лет (табл. 2). Определяющими динамику фитоценотической структуры лесных формаций поясов во времени были термические показатели. Режим увлажнения был, очевидно, не критичен для сибирского кедра, поскольку основным эдификатором за весь восстановленный временной период оставалась эта древесная порода.

Таблица 1. Растительные сообщества в избыточно влажной климатической фации Западного Саяна в голоцене (по разрезам «Танзыбей» и «Ойское»)

Временные периоды, лет назад	Высотные пояса, их растительные сообщества, высота над уровнем моря, климатические показатели			
Современный	Подтаежный пояс сосново-лиственничный 350–400 м $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1800^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 580\text{--}950 \text{ мм}$	Подпояс черневой кедрово-пихтовый 400–900 м $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1650^\circ \text{C} - 1050^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 950\text{--}1400 \text{ мм}$	Подпояс горно-таежный пихтово-кедровый 800–1300 м $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1150^\circ \text{C} - 650^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1400\text{--}1500 \text{ мм}$	Субальпийский пояс, пихтово-кедровые редколесья 1300–1800 м $\sum T > 10^\circ \text{C} = 650^\circ \text{C} - 250^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1500\text{--}1650 \text{ мм}$
Современный – 1000	Березовые леса с елью $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1650^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 750 \text{ мм}$	Кедрово-пихтовые леса	Кедровник злаково-мшистый	Кедровник разнотравный
1000–2000	Лесостепь с лиственницей $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1800^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 350 \text{ мм}$	Сосново-лиственничные подтаежные леса $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1650^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 950 \text{ мм}$	Пихтарник мшисто-разнотравный $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1050^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1500 \text{ мм}$	Кедровник осоково-кустарничковый $\sum T > 10^\circ \text{C} = 650^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1550 \text{ мм}$
2000–3000	Лиственные леса с лиственницей $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1650^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 800 \text{ мм}$	Пихтово-еловые леса $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1050^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1100 \text{ мм}$	Кедровник подгольцовый травяно-мшистый $\sum T > 10^\circ \text{C} = 500^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1200 \text{ мм}$	Тундра кустарничковая $\sum T > 10^\circ \text{C} = 250^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1350 \text{ мм}$
3000–4500	Березовые леса с елью	Сосново-лиственничные леса	Пихтарник хвощово-злаково-зеленомошный $\sum T > 10^\circ \text{C} = 750^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1400 \text{ мм}$	Кедровник разнотравный $\sum T > 10^\circ \text{C} = 650^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 1500 \text{ мм}$
4500–5500	Светлохвойная подтайга с березой	Пихтово-еловые леса с березой	Кедровые леса (Савина, 1976)	
5500–6000	Лесостепь с елью, березой $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1800^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 400 \text{ мм}$	Подтаежные леса сосново-лиственничные с березой $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1400^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 900 \text{ мм}$	Пихтово-кедровые леса (Савина, 1976)	
6000–7000	Лиственные леса с елью и пихтой $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1800^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 800 \text{ мм}$	Пихтово-еловые леса с березой $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1200^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 900 \text{ мм}$		
7000–8000	Луговая степь с чередованием озер $\sum T > 10^\circ \text{C} = 2000^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 300 \text{ мм}$	Лесостепь березово-лиственничная, переходящая в подтаежные сосново-лиственничные леса $\sum T > 10^\circ \text{C} = 1600^\circ \text{C}$ $\sum P \text{ мм/год} = 400 \text{ мм}$		

Примечания. Здесь и в табл. 3 и 4 $\sum T > 10^\circ \text{C}$ – сумма температур выше 10°C ; $\sum P \text{ мм/год}$ – среднее годовое количество осадков. Радиоуглеродные датировки выполнены в Институте геологии и минералогии им В. С. Соболева СО РАН и в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН и помещены на карпограммах. Возраст некалиброванный.

Третья климатическая фация, объединяющая умеренно влажные группы районов, представлена в нашем исследовании ключевым участком, расположенным в верховьях р. Ак-Суг. Разрез заложен в троговой долинке (1800 м над ур. м., $51^\circ 41' 23''$ с. ш., $89^\circ 59' 15''$ в. д.), занятой массивом

подгольцовых кедровников на границе с подгольцовыми кустарниками. Анализ видового состава ископаемых комплексов макроостатков (см. рис. 4) отразил четырехкратную перестройку растительности за последние 3000 лет (табл. 3).

Таблица 2. Растительные сообщества влажной климатической фации Западного Саяна в голоцене

Временные периоды позднего голоцена, лет назад	Время, датированное по ^{14}C , лет назад	Абсолютная высота над уровнем моря, м	
		1700	1800
Современный	–	Кедровник хвощово-осоково-разнотравный $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 1300\text{ мм}$	Кедровое ерниковое редколесье $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 1350\text{ мм}$
0–1000	–	Кедровник разнотравно-сфагново-осоковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 800\text{ мм}$	Кедрово-лиственничное ерниковое редколесье $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 900\text{ мм}$
1000–2000	–	Кедровник бруснично-осоковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 850\text{ мм}$	Кедрово-лиственничное ерниковое редколесье $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 900\text{ мм}$
2000–3000	2200 ± 100 (СОАН-9514)	Лиственничники заболоченные ерnikово-осоковые с кедром $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 900\text{ мм}$	Кустарничково-ерниковая тундра $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 950\text{ мм}$
3000–4000	–	Кедровник с елью, пихтой, сосной чернично-разнотравный $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 900\text{ мм}$	Кедровник ольхово-ерниковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 950\text{ мм}$
4000–5000	4090 ± 130 (СОАН-9515)	Лиственничное редколесье злаково-осоковое $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 500\text{ мм}$	Тундровые ерниковые заросли $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 600\text{ мм}$

Таблица 3. Растительные сообщества умеренно влажной климатической фации Западного Саяна в позднем голоцене

Временные периоды позднего голоцена, лет назад	Время, датированное по ^{14}C , лет назад	Абсолютная высота над уровнем моря, м	
		1800	1900
Современный	–	Лиственничник с кедром подгольцовый кустарничково-мохово-ерниковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 900\text{ мм}$	Редколесье лиственничное ерnikово-моховое $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 950\text{ мм}$
0–1000	–	Лиственничник с кедром разнотравно-ерниково-моховой $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 550\text{ мм}$	Тундра лугово-ерниковая $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 600\text{ мм}$
1000–2000	1350 ± 50 (КриЛ-587)	Лиственничник с кедром и березой разнотравно-злаковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 450\text{ мм}$	Лиственничник разнотравно-кустарничковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 500\text{ мм}$
2000–2500	2465 ± 75 (КриЛ-588)	Лиственничник подгольцовый ольховниково-ерниковый $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 550\text{ мм}$	Тундра ерниковая $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 600\text{ мм}$
2500–3000	–	Лиственничник с кедром разнотравный $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 800\text{ мм}$	Кедровник с березой кустарничково-разнотравный $\sum T > 10\text{ }^{\circ}\text{C} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\sum P\text{ мм/год} = 850\text{ мм}$

В начале периода была развита березово-кедровая тайга с бореальным разнотравьем, что свидетельствует о более мягких климатических условиях, чем те, которые наблюдаются здесь в настоящее время. Присутствие угольков и макроостатков березы высокоствольной предполагает послепожарную стадию развития кедровника.

Для следующей смены растительного покрова характерно полное исчезновение сибирского кедра, усиление роли лиственницы сибирской, появление и господство ольхи *Alnus* Mill., ерников, что указывает на значительную континентальность и похолодание климата. Новое улучшение климатических условий фиксируется на карпограмме возвращением сибирского кедра и березы повислой с участием таежного мелко-травья. Появление сфагнома свидетельствует о нарастании влажности климата. Заключительная смена растительности (последнее тысячелетие) характеризуется сокращением лесистости и развитием заболоченных лиственнично-кедровых редколесий и ерников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстановление видовой структуры растительных сообществ в разных высотных поясах и конкретных местообитаниях позволило детализировать преобразования сукцессий и соотнести их с дифференциацией климатических факторов, влияющих на вековую динамику сообществ. Определены особенности изменения состава лесов с участием кедра, отмеченным на всех этапах по временным срезам голоцена для трех разных лесорастительных районов Западного Саяна: избыточно влажного, влажного и умеренно-влажного. Установлено неоднократное смещение верхней границы леса при сопряженных изменениях температуры и атмосферного увлажнения, проявившихся одновременно на территориях исследования. При увеличении температуры и влажности высотный уровень границы леса повышался и на западе, и на востоке северного мегасклона Западного Саяна. При уменьшении температуры и устойчивой влажности воздуха понижение границы леса выявилось только в западной части, в экотоне подгольцовых кедровых редколесий (граница умеренно-влажной и влажной групп районов). В восточной части Западного Саяна одновременное похолодание и снижение влажности, т. е. рост континентальности (профиль Танзыйский), способствовали расширению границ

кедра сибирского за счет сокращения ареалов пихты сибирской и, вероятно, ели сибирской.

Таким образом, в результате палеокарпологического изучения голоценовых отложений установлены тенденции развития лесной растительности за последние 7000 лет, в первую очередь связанные с циклическими изменениями климата.

Проведенный анализ многовековой динамики кедровых лесов в разных лесорастительных зонах (ВПК) позволил установить очень длительный срок их существования в Западном Саяне при разных природных режимах. Они сформировали по меньшей мере три разных субформации – пихтово-кедровую, кедровую и лиственнично-кедровую. Каждая доминирует в своей группе районов – избыточно-влажной, влажной и умеренно-влажной соответственно и представлена характерными типами леса, сформировавшимися в ходе многовековой истории на базе того комплекса видов, который менялся, отсеивался, пополнялся из окружающей среды и вновь преобразовывался, подчиняясь происходящим изменениям климата, а также другим экзо- и эндогенным факторам. Но сибирский кедр как эдификатор переживал многие неблагоприятные этапы (эпохи), и это говорит о его высокой потенциальной устойчивости в горных условиях, особенно во влажном климате. В первой половине послеледникового времени можно видеть устойчивую тенденцию отступления сибирского кедра в средне- и высокогорья на более высокие гипсометрические уровни. Развитие же остепненных светлохвойных (лиственничных, позднее сосновых) лесов отмечается на южном макросклоне Западного Саяна на большей части среднегорного пояса (Кошкаров, Кошкарова, 2016; Кошкаров, 2018). А в низко- и предгорьях были широко распространены луговые и злаково-разнотравные степи. Такая направленность прерывалась дважды в периоды значительного похолодания при сохраняющейся влажности климата за счет горного рельефа при западном переносе воздушных масс. Скорость отступления и наступления темнохвойных древесных пород различна: в первую очередь мигрируют пихта и ель, а затем и кедр сибирские. Особенно значительными были изменения в растительном покрове, которые проявлялись в смещении высотных поясов вниз во время похолоданий и в расселении бореальных элементов в высокогорьях в периоды потеплений. Следует отметить важный аспект – чередование не только теплых и холодных периодов, но и на их фоне сухого кон-

тинентального и более мягкого влажного климата. Уместно подчеркнуть, что исследуемый западный регион на границе с Юго-Восточным Алтаем в климатическом отношении имеет с начала климатического оптимума голоцена устойчивую тенденцию к ксерофитизации, сохраняющейся в настоящее время.

Работа выполнена при поддержке РФФИ – гранты № 18-04-01068 и 18-05-00781.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Бляхарчук Т. А. Изменение растительности и климата Западного Саяна и их взаимосвязь с развитием археологических культур региона во второй половине голоцена по данным спорово-пыльцевого анализа болотных отложений // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2011. № 351. С. 145–151 [Blyakharchuk T. A. Izmenenie rastitelnosti i klimata Zapadnogo Sayana i ikh vzaimosvyaz s razvitiem arkheologicheskikh kultur regiona vo vtoroy polovine golotsena po dannym sporovo-pyltseвого anali_za bolotnykh otlozheniy (Changes of vegetation and climate of Western Sayan mountains and its interconnection with development of archeological cultures of area during second half of the holocene according to spore-pollen data of peat deposits) // Vestn. Tomsk. gos. un-ta (Tomsk St. Univ. J.). 2011. N. 351. P. 145–151 (in Russian with English abstract)].
- Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным // Тр. Геол. ин-та АН СССР. Вып. 257. М.: Наука, 1974. 254 с. [Kind N. V. Geokhronologiya pozdnego antropogena po izotopnym dannym (Geochronology of the Late Anthropogen according to isotope data) // Tr. Geol. in-ta AN SSSR (Proc. Geol. Inst. USSR Acad. Sci.). Iss. 257. Moscow: Nauka, 1974. 254 p. (in Russian)].
- Кошкарлов А. Д. Палеоэкология, динамика лесных и болотных экосистем и климата бассейна р. Кас в позднем плейстоцене и голоцене: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 1998. 25 с. [Koshkarov A. D. Paleoeкологиya, dinamika lesnykh i bolotnykh ekosistem i klimata basseyna r. Kas v pozdnem pleystotsene i golotsene: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk (Paleoecology, dynamics of forest and bog ecosystems and climate of the Kas river basin in the Late Pleistocene and Holocene: cand. biol. sci. (PhD) thesis). Krasnoyarsk: In-t lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN (V. N. Sukachev Inst. For., Rus. Acad. Sci. Sib. Br.), 1998. 25 p. (in Russian)].
- Кошкарлов А. Д. Динамика позднеголоценовых типов растительности в недостаточно влажном антициклоническом секторе Саян (северо-запад Тувы) // Төв Азийн экосистем: судалгаа, хамгаалал, зохиотой ашиглалт. «УВС НУУР» Олон улсын зэлжит XIV симпозиум, ООПТ «Убсунурский бассейн», 03–05 августа 2018 г. Улаанбаатар: «Монхийн усэг» ХХК, 2018. С. 258–263 [Koshkarov A. D. Dinamika pozdnegolotsenovykh tipov rastitelnosti v nedostatochno vlazhnom antitsiklonicheskom sektore Sayan (severo-zapad Tuvy) (Dynamics of Late Holocene types of vegetation in insufficiently wet anticyclonic sector Sayan (North-West Tuva)) // Tov Aziyn ekosistem sudalгаа, khamgaalal, zokhistoy ashiglaht. «UVS NUUR» Oлон улсын зэлжит XIV Int. Symp., 03–05 Aug. 2018, Spec. Protect. Area Ubsu-Nur basin. Ulaanbaatar: «Monkhiyn useg» KHKKH, 2018. P. 258–263 (in Russian with English abstract)].
- Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Реконструкция трансформации видовой структуры типов растительности Турано-Уюкской котловины (юго-восточная часть Западного Саяна) под воздействием глобальных климатических изменений // Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование: мат-лы XIII Убсунурского Междунар. симп., Кызыл, 4–7 июля 2016 г. Кызыл: Тув. гос. ун-т, 2016. С. 198–202 [Koshkarov A. D., Koshkarova V. L. Rekonstruktsiya transformatsii vidovoy struktury tipov rastitelnosti Turano-Uyukskoy kotloviny (yugovostochnaya chast' Zapadnogo Sayana) pod vozdeystviem globalnykh klimaticheskikh izmeneniy (Reconstruction of transformation of species structure of types of vegetation of the Turan-Uyuk hollow (Southeast part of Western Sayan mountains) as a result of global climatic changes) // Ekosistemy Tsentralnoy Azii: issledovanie, sokhraniye, ratsionalnoe ispolzovanie: mat-ly XIII Ubsunurskogo Mezhdunar. simpoz., Kyzyl, 4–7 iyulya 2016 g. (Ecosystems of the Central Asia: studies, preservation, rational use. Proc. XIII Ubsunursky Int. Symp., Kyzyl, 4–7 July 2016). Kyzyl: Tuv. gos. un-t (Tuva St. Univ.), 2016. P. 198–202 (in Russian with English abstract)].
- Кошкарлова В. Л., Буренина Т. А., Кошкарлов А. Д., Мурзакматов Р. Т., Фарбер С. К. Оценка устойчивости биоразнообразия высотных поясов гор Западного Саяна (на примере северного макросклона) в условиях меняющегося климата // Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование: мат-лы XIII Убсунурского Междунар. симп., Кызыл, 4–7 июля 2016 г. Кызыл: Тув. гос. ун-т, 2016. С. 202–208 [Koshkarova V. L., Burenina T. A., Koshkarov A. D., Murzakmatov R. T., Farber S. K. Otsenka ustoychivosti bioraznoobraziya vysotnykh pooyasov gor Zapadnogo Sayana (na primere severnogo makrosklona) v usloviyakh menyayushchegosya klimata (Assessment of stability of the biodiversity of high-rise belts of mountains Western Sayan mountains (on the example of the northern macroslope) in the conditions of the changing climate) // Ekosistemy Tsentralnoy Azii: issledovanie, sokhraniye, ratsional'noe ispolzovanie: mat-ly XIII Ubsunurskogo Mezhdunar. Simpoz., Kyzyl, 4–7 iyulya 2016 g. (Ecosystems of the Central Asia: studies, preservation, rational use. Proc. XIII Ubsunursky Int. Symp., Kyzyl, 4–7 July 2016). Kyzyl: Tuv. gos. un-t (Tuva St. Univ.), 2016. P. 202–208 (in Russian with English abstract)].
- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д., Кольцова В. Г. Климатическая обусловленность динамики позднеголоценовых ценотипов древесных пород во внутреннем экотоне лесов Восточного Саяна // Экология. 2006. № 5. С. 350–359 [Koshkarova V. L., Koshkarov A. D., Kol'tsova V. G. Klimaticheskaya obuslovlennost dinamiki pozdnegolotsenovykh tsenotipov drevesnykh porod vo vnutrennem ekotone lesov Vostochnogo Sayana (Climatic dependence of the Late Holocene dynamics of tree

- species cenotypes in the intrazonal ecotone of Eastern Sayan forests) // *Ekologiya* (Ecol.). 2006. N. 5. P. 350–359 (in Russian with English abstract)].
- Молокова Н. И., Назимова Д. И. Эколого-ценотический состав флоры высотно-поясных комплексов гумидных районов Саян // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: тез. докл. конф., посвящ. памяти Л. М. Черепнина. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1991. С. 103–106 [Molokova N. I., Nazimova D. I. Ekologo-tsenoticheskiy sostav flory vysotno-poyasnykh kompleksov gumidnykh rayonov Sayan (Ecological and cenotic composition of the flora of high-altitude-belt complexes of the Sayan humid regions) // *Flora i rastitel'nost' Sibiri i Dalnego Vostoka: tez. dokl. konf. posvyashch. pamyati L. M. Cherepnina* (Flora and vegetation of Siberia and Far East. Abstr. Conf. dedicated memory L. M. Cherepnin). Krasnoyarsk: In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR (V. N. Sukachev Inst. For. & Timber, USSR Acad. Sci. Sib. Br.), 1991. P. 103–106 (in Russian)].
- Никитин В. П. Палеокарпологический метод (руководство по методике изучения ископаемых семян и плодов). Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1969. 81 с. [Nikitin V. P. Paleokarpologicheskiy metod (rukovodstvo po metodike izucheniya iskopaemykh semyan i plodov) (Paleocarpological method (guide to the method of studying fossil seeds and fruits)). Tomsk: Izd-vo Tomsk. gos. un-ta (Tomsk St. Univ. Publ.), 1969. 81 p. (in Russian)].
- Никитин В. П. Петр Алексеевич Никитин (очерк жизни и деятельности) // Советская палеокарпология (итоги и перспективы). М.: Наука, 1979. С. 5–10 [Nikitin V. P. Petr Alekseevich Nikitin (oчерk zhizni i deyatelnosti) (Petr Alekseevich Nikitin (sketch of life and work)) // *Sovetskaya paleokarpologiya (itogi i perspektivy)* (Soviet paleocarpology (Results and prospects)). Moscow: Nauka, 1979. P. 5–10 (in Russian)].
- Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 224 с. [Polikarpov N. P., Tchebakova N. M., Nazimova D. I. Klimat i gornye lesa Yuzhnoy Sibiri (Climate and mountain forests of Southern Siberia). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br., 1986. 224 p. (in Russian)].
- Савина Л. Н. Новейшая история лесов Западного Саяна (по данным спорово-пыльцевого анализа почв) / Отв. ред. В. Н. Смагин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 157 с. [Savina L. N. Noveyshaya istoriya lesov Zapadnogo Sayana (po dannym sporovo-pyltseвого analiza pochv) (Recent history of the forests of the Western Sayan (according to the data of spore-pollen analysis of soils)) / V. N. Smagin (Ed.). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br., 1976. 157 p. (in Russian)].
- Семечкин И. В., Поликарпов Н. П., Ирошников А. И., Бабинцева Р. М., Воробьев В. Н., Дашко Н. В., Иванов В. В., Кондаков Ю. П., Коротков И. А., Мурина Т. К., Назимова Д. И., Попов В. Е., Попова Ю. М., Соколов Г. А., Софронов М. А., Смагин В. Н., Спиридонов Б. С., Чебакова Н. М., Чередникова Ю. С. Кедровые леса Сибири / Отв. ред. А. С. Исаев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 257 с. [Semechkin I. V., Polikarpov N. P., Iroshnikov A. I., Babintseva R. M., Vorobev V. N., Dashko N. V., Ivanov V. V., Kondakov Yu. P., Korotkov I. A., Murina T. K., Nazimova D. I., Popov V. E., Popova Yu. M., Sokolov G. A., Sofronov M. A., Smagin V. N., Spiridonov B. S., Tchebakova N. M., Cherednikova Yu. S. Kedrovye lesa Sibiri (The Siberian stone pine forests of Siberia) / A. S. Isaev (Resp. Ed.). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br., 1985. 258 p. (in Russian)].
- Смагин В. Н., Назимова Д. И., Чередникова Ю. С. Типы лесов гор Южной Сибири / Отв. ред. В. Н. Смагин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 334 с. [Smagin V. N., Nazimova D. I., Cherednikova Yu. S. Tipy lesov gor Yuzhnoy Sibiri (Types of forests in the mountains of Southern Siberia) / V. N. Smagin (Ed.). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br., 1980. 334 p. (in Russian)].
- Справочник по климату СССР. Вып. 21. Л.: Гидрометеиздат, 1966. Ч. II. 360 с; 1969. Ч. IV. 402 с. [Spravochnik po klimatu SSSR (Reference book on the climate of the USSR). Iss. 21. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. Pt. II. 360 p.; 1969. Pt. IV. 402 p. (in Russian)].
- Степанов Н. В., Васильев А. Н., Тупицына Н. Н. Флора Саян. Учеб. пособ. по специальности 013500 «Биоэкология». Красноярск: КрасГУ, 2003. 326 с. [Stepanov N. V., Vasil'ev A. N., Tupitsyna N. N. Flora Sayan. Ucheb. posob. po spetsialnosti 013500 «Bioekologiya» (Flora of the Sayan Mountains. Textbook in the specialty 013500 «Bioecology»). Krasnoyarsk: KrasGU (Krasnoyarsk St. Univ.), 2003. 326 p. (in Russian)].
- Флора Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1965. Вып. III и IX. 175 с.; 1969. Вып. X. 143 с.; 1976. Вып. XI. 162 с. [Flora Sibiri (Flora of Siberia). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br. 1965. Iss. III & IX. 175 p.; 1969. Iss. X. 143 p.; 1976. Iss. XI. 162 p. (in Russian)].
- Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. Опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука, 1977. 200 с. [Khotinskiy N. A. Golotsen Severnoy Evrazii. Opyt transkontinentalnoy korrelyatsii etapov razvitiya rastitelnosti i klimata (Holocene of the Northern Eurasia. Experience of transcontinental correlation of vegetation and climate development stages). Moscow: Nauka, 1977. 200 p. (in Russian with English summary and contents)].
- Ямских Г. Ю., Гренадерова А. В., Борисова И. В. Реконструкция растительности в окрестностях озера Ойское (по данным спорово-пыльцевого анализа) в голоцене (территория природного парка «Ергаки») // «Ергаки» история и будущее: мат-лы краевой науч.-практ. конф. Красноярск: СФУ, 2008. С. 26–30 [Yamskikh G. Yu., Grenaderova A. V., Borisova I. V. Rekonstruktsiya rastitelnosti v okrestnostyakh ozera Oyskoe (po dannym sporovopyltseвого analiza) v golotsene (territoriya prirodnogo parka «Ergaki») (Reconstruction of vegetation in the vicinity of Lake Oyskoe (according to spore pollen analysis) in the Holocene (territory of the Ergaki natural park)) // «Ergaki» istoriya i budushchee: mat-ly kraevoy nauch.-prakt. konf. («Ergaki» the history and the future. Proc. Krai Sci.-Pract. Conf. Krasnoyarsk: SFU (Sib. Fed. Univ.), 2008. P. 26–30 (in Russian with English abstract)].
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D., Kol'tsova V. G. Climatic dependence of the Late Holocene dynamics of tree species cenotypes in the intrazonal ecotone of Eastern Sayan forests // *Rus. J. Ecol.* 2006. V. 37. Iss. 5. P. 316–324 (Original Rus. Text © V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov,

- V. G. Kol'tsova, 2006, publ. in *Ekologiya*. 2006. N. 5. P. 350–359).
- Soja A. J., Tchebakova N. M., French N. H., Flannigan M. D., Shugart H. H., Stocks B. J., Sukhinin A. I., Parfenova E. I., Chapin III F. S., Stackhouse P. W. Climate-induced boreal forest change: predictions versus current observations // *Glob. Planet. Change*. 2007. V. 56. Iss. 3–4. P. 274–296.
- Tchebakova N. M., Monserud R. A., Nazimova D. I. A Siberian vegetation model based on climatic parameters // *Can. J. For. Res.* 1994. V. 24. N. 8. P. 1597–1607.
- Tchebakova N. M., Monserud R. A., Leemans R., Nazimova D. I. Possible vegetation shifts in Siberia under climatic change // *Impacts of climate change on ecosystems and species: terrestrial ecosystems* / J. C. Pernetta, R. Leemans, D. Elder, S. Humphrey (Eds.). Switzerland: IUCN, Gland, 1995. P. 67–82.
- Tchebakova N. M., Parfenova E. I., Soja A. J. Climate change and climate-induced hot spots in forest shifts in central Siberia from observed data // *Reg. Environ. Change*. 2011. V. 11. Iss. 4. P. 817–827.

CENTURIES-OLD CLIMATIC TRENDS OF TRANSFORMATION OF THE SIBERIAN STONE PINE FORESTS IN DIFFERENT FOREST VEGETATION ZONES OF THE WESTERN SAYAN MOUNTAINS

A. D. Koshkarov, V. L. Koshkarova, D. I. Nazimova

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: koshkarov.al@ksc.krasn.ru, koshkarova.vl@ksc.krasn.ru, inpol@mail.ru

The article highlights the results of a paleobotanical study of peat deposits in different forest zones and types of habitats in the Western Sayan, where the Siberian stone pine *Pinus sibirica* Du Tour is currently the dominant species. Based on paleocarpological and radiocarbon analyzes, changes in vegetation, climate and landscapes from 8000 years ago to the present have been reconstructed. The material for the study was the macroremains of fossil plants. Changes in the species composition of macroremains of dominant plant species in each section made it possible to combine them into macrocomplexes, each of which characterizes a certain time and landscape-climatic regime. Carpograms were constructed for four sections, with a detailed characteristic of fossil macrocomplexes by species composition. When analyzing the morphological and anatomical physiognomy of each fossil object according to the degree of preservation, they were differentiated into two groups of plants - the local reflecting peculiarities of the habitat (facies) and the adjacent one characteristic of a larger territorial complex (paleolandscape). Their combination gives an idea of the change in the landscape situation in centuries of climate change. In each group, the edicator and dominants of past phytocenoses, fixed by macrocomplexes of fossils, were determined using the method of ecological-cenotic analysis. The dynamics of the composition and phytocenotic structure of plant communities, replacing each other in a thousand-year history, has been established. A quantitative assessment of the climatic situation is given, which determines their change in different climatic epochs. The repeated displacement of the upper forest boundary was established with conjugate changes in heat and atmospheric moisture, which manifested themselves simultaneously in the study areas. On the example of the Siberian stone pine formation, represented in different forest areas by three different climatic facies of the formation, it is shown that in each of them, with the trends of climate change common for the mountains (warming or cooling, as well as changes in atmospheric moisture), centuries-old changes of communities had their own specific features.

Keywords: *Siberian stone pine forests of the Western Sayan, reconstruction of vegetation, climate, Holocene, macroremains, geochronology.*

How to cite: Koshkarov A. D., Koshkarova V. L., Nazimova D. I. Centuries-old climatic trends of transformation of the Siberian stone pine forests in different forest vegetation zones of the Western Sayan Mountains // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2021. N. 2. P. 3–16 (in Russian with English abstract and references).