

УДК 56:581.524.3:551.796:581.48

ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ КОТУЙ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В. Л. Кошкарлова, А. Д. Кошкарров

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

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

Поступила в редакцию 20.06.2023 г.

В статье освещены результаты палеоботанического изучения торфяных отложений в бассейне среднего течения р. Котуй (Северная Эвенкия). Базовым материалом для исследования стали макроостатки ископаемых растений. На основании изменения видового состава ископаемых объектов и радиоуглеродного датирования по ^{14}C реконструирована динамика фитоценотической структуры лесных формаций за последние 6000 календарных лет. Дана количественная оценка их климатической обусловленности. В начале рассматриваемого времени в результате потепления и повышения влажности увеличивается биоразнообразие растительного покрова и формируется формация бореальных смешанных лесов с елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). С нарастанием континентальности и похолодания климата биоразнообразие падает, а доминирующей формацией становится редкостойная лиственничная с лиственницей Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Установлена динамика границ ареалов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), л. Гмелина и кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) на рубеже климатического оптимума и в позднем голоцене.

Ключевые слова: реконструкция растительности, макроостатки растений, климат, голоцен, геохронология, Северная Эвенкия.

DOI: 10.15372/SJFS20240506

ВВЕДЕНИЕ

Северные территории Сибири в последнее время подвергаются интенсивному освоению природных ресурсов, что приводит к деструкции природных экосистем. Повышенной уязвимостью страдают лесные экосистемы с недостаточной сомкнутостью растительного покрова, расположенные в криогенной зоне. Многочисленный палеоботанический материал, имеющий наибольшее радиоуглеродное подтверждение и обобщенный в работах Н. В. Кинд (1974), Н. А. Хотинского (1977), Палеоклиматы ... (2009), Р. А. Groisman и соавт. (2013) и других, уже доказал, что растительность северных широт всегда быстрее реагировала в историческом прошлом на изменения климатического и экологического режимов, чем растительность южных широт. На основании главным образом

спорово-пыльцевых данных малого таксономического разрешения были установлены неоднократные миграции растительных зон в результате климатических флуктуаций без детализации морфоструктуры растительного покрова внутри них. Поэтому именно по изменению структуры лесных формаций северных территорий за последние тысячелетия надежнее строить научный прогноз для решения вопросов рационального природопользования. Необходимо подчеркнуть, что реконструкция лесного покрова регионального уровня, основанная на современных местных связях климат – растительность исследована слабо и нуждается в углубленном изучении. Этого требует и оценка риска деградации отдельных видов лесообразователей и видов-доминантов нижних ярусов леса. Голоцен, по предложению международной Подкомиссии по четвертичной стратиграфии, начался примерно 11 650 кален-

дарных лет назад, или 9700 лет до нашей эры (Тесаков, 2015; Tesakov, 2015), и является одной из более-менее разработанных общих моделей для расшифровки закономерностей естественного развития лесных экосистем прошлого, но требующей корректирующих данных регионального уровня (Mayewski et al., 2004; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014).

Цель работы – реконструировать естественную многовековую динамику биоразнообразия и фитоценотическую структуру растительного покрова в среднем течении р. Котуй по данным палеокарпологии (ископаемые плоды, семена и другие макроостатки растений).

Для ее выполнения решались следующие задачи:

- провести видовую идентификацию ископаемых объектов и дифференциацию по эколого-ценотическим группам согласно экотопической приуроченности их материнских растений;
- установить видовую структуру палеофитоценозов с выявлением эдификаторов и доминантов сопутствующих им эколого-ценотических групп травяно-кустарничкового яруса по формам рельефа и временным отрезкам с учетом данных радиоуглеродного датирования;
- выявить динамику доминирующих типов растительности для каждой тестовой точки и определить количественные показатели климатических условий по временным периодам.

В результате исследований выявленная последовательность многовековых смен эколого-ценотических групп типов растительности как показатель изменения общего климата станет базовой информацией для более точного определения тенденций развития эколого-фитоценотического разнообразия конкретных типов растительности в северо-восточной части Эвенкии при разных вариациях климата и антропогенного прессинга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

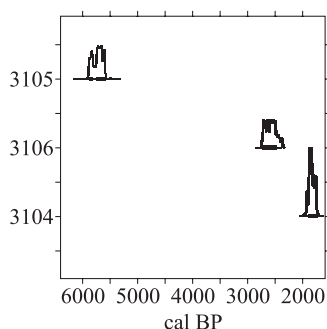
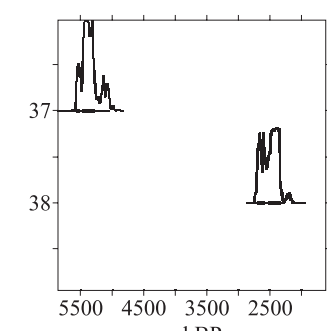
Представленные в работе данные являются итогом изучения части голоценового палеоботанического материала, отобранного во время дендрохронологической российско-швейцарской экспедиции (Кошкарлова и др., 1997), изучение которого было отложено (из-за большого объема основного) и проведено в 2020 г. в связи с выполнением проекта по развитию растительного покрова Эвенкии, поддержанного грантом РФФИ № 18-04-01068.

Объектами исследования были образцы из двух шурфов, заложенных в естественных береговых обнажениях, вскрывающих мерзлые торфяные отложения, расположенные в среднем течении р. Котуй (68°27' с. ш., 103°31' в. д.) и оз. Чиринда (67°46' с. ш., 100°27' в. д.). Эта территория, согласно лесорастительному районированию И. А. Короткова (1994), относится к Норильско-Хантайской Путоранской горной области северотаяжных редкостойных лесов и горных тундр. Растительность в точках исследования очень сходна. Она представлена лиственничниками одного типа – редкостойный (полнота 0.2) зеленомошно-кустарничковый из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Приурочены они к торфяно-глеевым почвам и к поверхностям с ярко выраженным бугристым микрорельефом, с чем и связана сильная мозаичность напочвенного покрова. Древостои в целом угнетены. На кочках высотой не более 0.5 м группируются куртинки гипоарктических кустарников и кустарничков – багульник болотный (*Ledum palustre* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), ива мохнатая (*Salix lanata* L.), береза тощая (*Betula exilis* Sukaczew), водяника черная (*Empetrum nigrum* L.), единично встречается арктоус альпийский (*Arctous alpina* (L.) Nied.). Из травянистых растений присутствуют в небольшом количестве пушица влагалищная (*Eryophorum vaginatum* L.), лютик ползучий (*Ranunculus repens* L.), спорыш птичий (*Polygonum aviculare* L.), грушанка мясо-красная (*Pyrola incarnata* (DC.) Freyn). В напочвенном покрове преобладают мхи аулакомниума (*Aulacomnium* Schwägr.).

Современные многолетние климатические показатели для района исследования по ближайшей к нему метеостанции Ессей, следующие: средняя январская температура опускается до –37 °С, средняя июльская составляет 13.3 °С, среднегодовое количество осадков равно 342 мм (Справочник..., 1966–1969).

В представленной работе основным методом исследования был палеокарпологический с использованием данных геохронологии и доминантной основы ботанического состава торфа, подтверждающих возраст и стратиграфическое построение. Образцы отбирались без перерывов каждые 5 см с учетом стратиграфии разреза (объемом 3000 см³). Для каждого изученного разреза были выполнены радиоуглеродные определения, возраст которых скорректирован с использованием программы CALIB HTML версии 8.2 Stuiver and Reimer, 1986–2020 (Reimer et al., 2020) (табл. 1).

Таблица 1. Радиоуглеродные даты, полученные для среднего течения р. Котуй (Эвенкия)

Глубина, см	Номер образца	Отобранный материал	Радиоуглерод- ный возраст ¹⁴ С, лет назад	Откло- нение	Калиброван- ный возраст, н. э./до н. э.	Апостериорная вероятность распределения
р. Котуй						
12	СОАН 3110	Торф	1920	30	1835	
20	СОАН 3106	»	2490	45	2557	
35	СОАН 3105	Древесина	4990	65	5725	
Оз. Чиринда						
30	КрИЛ-38	Торф	2410	80	2488	
40	КрИЛ-37	Древесина	4650	85	5385	

Примечание. Радиоуглеродные датировки выполнены в Институте геологии и минералогии им В. С. Соболева СО РАН к. г.-м. н. Л. А. Орловой и в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН сотрудниками группы радиоуглеродного анализа Э. В. Стариковым и В. А. Жидовленко (1981).

Но для точности корреляционного анализа, полученного палеокарпологического с литературным оригинальным палеоботаническим материалом (не имеющем калиброванного значения радиоуглеродного возраста), приводимые в тексте даты по ^{14}C мы оставили некалиброванными (они соответствуют возрасту за 1000 лет до 1950 г.).

Хотя базовым материалом палеокарпологии являются плоды, семена и мегаспоры, объединяемые под названием карпоиды, но мы учитывали и определяли другие макроостатки, например укороченные побеги, почки, хвою, мелкие листочки берез, ольхи (*Alnus* Mill.), ив, листья мхов и др.

В целом процедура палеокарпологического исследования голоценового материала, начиная от сбора образцов и до интерпретации полученных данных, нами апробирована и подробно освещалась в ряде работ, опубликованных за рубежом и в ведущих отечественных журналах (Koshkarova, 1995; Кошкарлова и др., 1997; Кошкарлов, Кошкарлова, 2000, 2021; Кошкарлова, Кошкарлов, 2004, 2005; Koshkarova, Koshkarov, 2004, 2005; Кошкарлова и др., 2006; Koshkarova

et al., 2006; и др.). Следует только подчеркнуть, что особенностью применяемого авторами метода является то, что помимо видовой идентификации голоценовых ископаемых объектов мы дифференцировали их на группы удаленности от материнского растения благодаря их хорошей анатомо-морфологической физиономичности. Судя по составу изученных ранее субрецентных макрокомплексов, в Центральной Эвенкии в каждом ископаемом макрокомплексе присутствуют остатки видов растений, как локальные, так и привнесенные с территории, прилегающей по гипсометрическому уровню выше. Это хорошо диагностируется по наличию следов транспортировки на поверхности ископаемых объектов. По этому же признаку установлено, что во всех макрокомплексах большая часть остатков вегетативных частей растений являются локальными, а большая часть генеративных – представителями сопредельных территорий. Таким образом, каждый ископаемый макрокомплекс позволил реконструировать не только локальный и сопредельный тип растительности, но и выделить региональный доминант.

Помимо этого, при определении эдификаторов и доминантов в прошлых растительных сообществах разного гипсометрического уровня использовался метод эколого-ценотического анализа (Молокова, Назимова, 1991), применяемого при фитоиндикации современных лесных экосистем. Как известно, наиболее четким показателем преобразований, происходящих в растительном покрове, является видовой состав травяно-кустарничкового яруса как наиболее мобильный структурный компонент, быстрее реагирующий на различные флуктуации природных условий. Для количественной оценки и определения доминантов эколого-фитоценотической структуры реконструированных растительных палеосообществ была вычислена доля участия каждого вида растений по группам деревьев, кустарников, кустарничков и трав. Результат этого расчета графически представлен в виде карпограмм, по аналогии со спорово-пыльцевыми диаграммами. Карпограммы отражают фитоценотическую структуру реконструированных сообществ на видовом, более детальном, уровне. Это дает возможность проводить более точный интегральный анализ экологических изменений палеосообществ во времени.

И здесь необходимо подчеркнуть о преимуществе точного видового определения по ископаемым семенам и шишкам хвойных по-

род лиственниц Гмелина и сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.), кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) (близких по роду и морфологии), по сравнению с довольно трудной дифференциацией их по пыльце (Волкова, 1977). Однако по своим биологическим и лесоводственным свойствам эти виды древесных растений существенно различаются (Дендрология..., 1934; Бобров, 1978; Коропачинский, 1983; Абаимов, Милютин, 1995; Коропачинский, Встовская, 2002; и др.), характеризуя определенные топоэдафические условия, что очень важно при реконструкции растительного покрова. Поэтому видовая идентификация их ископаемых объектов проводилась на основе сравнительного морфолого-анатомического изучения с их современными генеративными органами. Выявленные дополнительные морфолого-анатомические детали строения (Кошкаров, Кошкарлова, 2019) семян и шишек упомянутых выше хвойных позволили более точно диагностировать ископаемые таковых до вида, что, в свою очередь, способствовало более точному восстановлению динамики их ареалов (рис. 1, 2) по фотографии.

Основным актуалистическим источником палеореконструкций стали геоботанические карты современного растительного покрова и ареалов индикаторных видов растений (Фло-

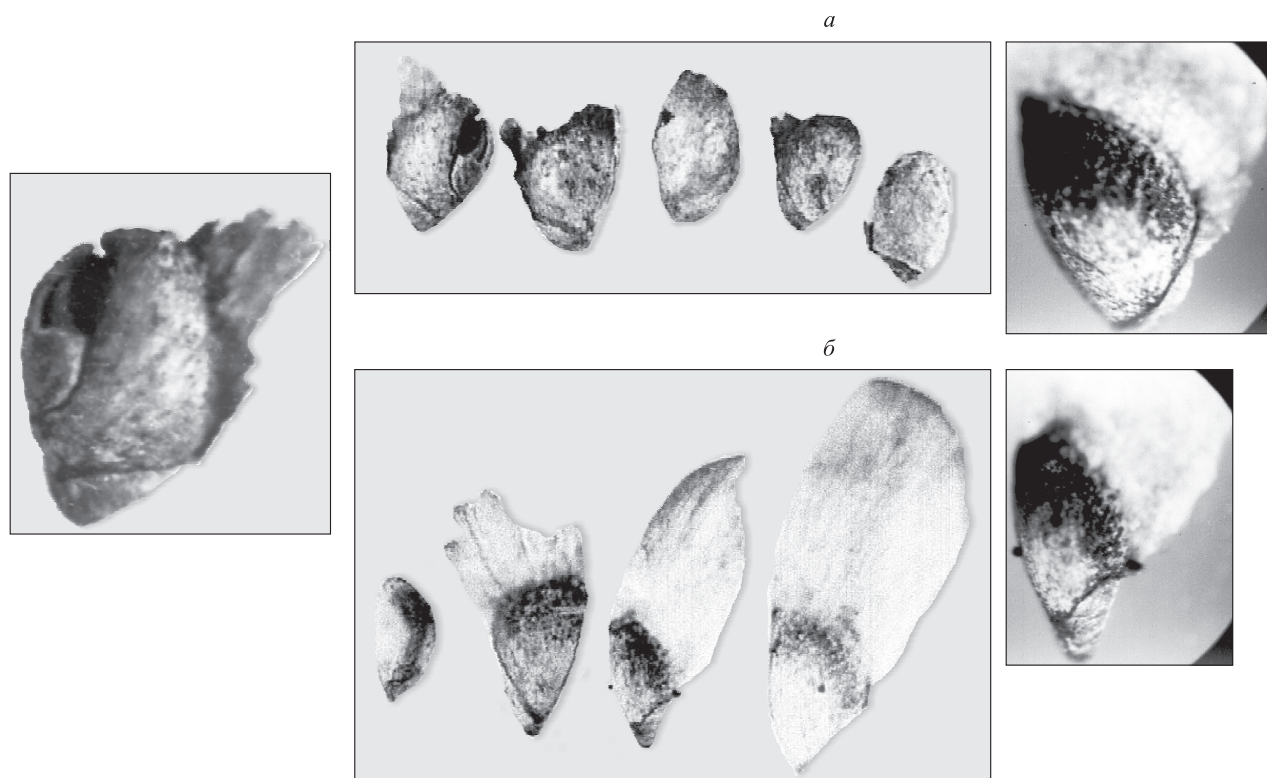


Рис. 1. Ископаемые семена лиственниц сибирской (а) и Гмелина (б) в МБС-2. $\times 7$ и $\times 3.5$.

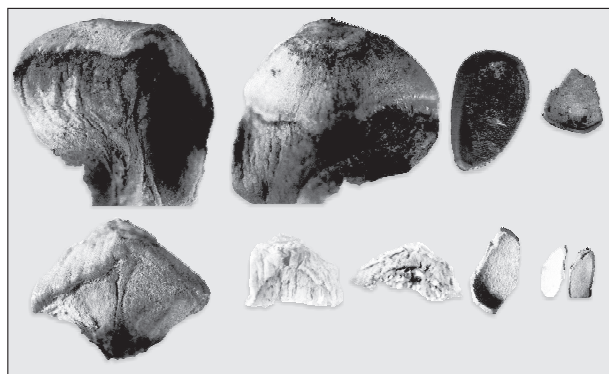


Рис. 2. Ископаемые семена рода сосна в МБС-2. $\times 7$ и $\times 3.5$.

Верхний ряд – семенные чешуи шишек (верхняя часть), семена и фрагмент семени сосны сибирской кедровой; нижний ряд – три верхних части семенных чешуй шишек, два фрагмента семени кедрового стланика.

ра..., 1987–2003; Коропачинский, Встовская, 2002), а также при заключительном анализе палеоботанического материала – эколого-фито-ценотическая карта современного растительного покрова Сибири (Букс и др., 1977) высокого уровня обобщения.

Для определения некоторых градиентов прошлой климатической обстановки использованы современные климатические показатели метеостанций аналоговых территорий, т. е. территорий, где произрастают современные рас-

тения, растительные сообщества, подобные по структуре и характеру реконструированным, и с участием в них индикационных видов, характерных той или иной зональной и подзональной категории, т. е. в данном случае были воплощены принципы двух методов палеоклиматических реконструкций – ареалогического (Гричук, 1969) и аналогового (Будыко, 1991).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Старшими по возрасту оказались торфяные отложения берегового обнажения р. Котуй – возраст подошвы равен 4990 ± 65 лет назад (далее л. н.) (СОАН-3105), срединного слоя – 2490 ± 45 л. н. (СОАН-3106) и верхнего – 1920 ± 30 л. н. (СОАН-3110).

Видовой и количественный состав ископаемых объектов разрезов помещен на карпограммах в виде макрокомплексов, представляющих собой совокупность определенных видов растений, относящихся к определенному отрезку времени и имеющих свои индикационные элементы (рис. 3, 4).

И здесь, особого внимания заслуживают ископаемые комплексы, в которых совместно присутствуют макроостатки трех эдификаторов в разных сочетаниях по времени – лиственница

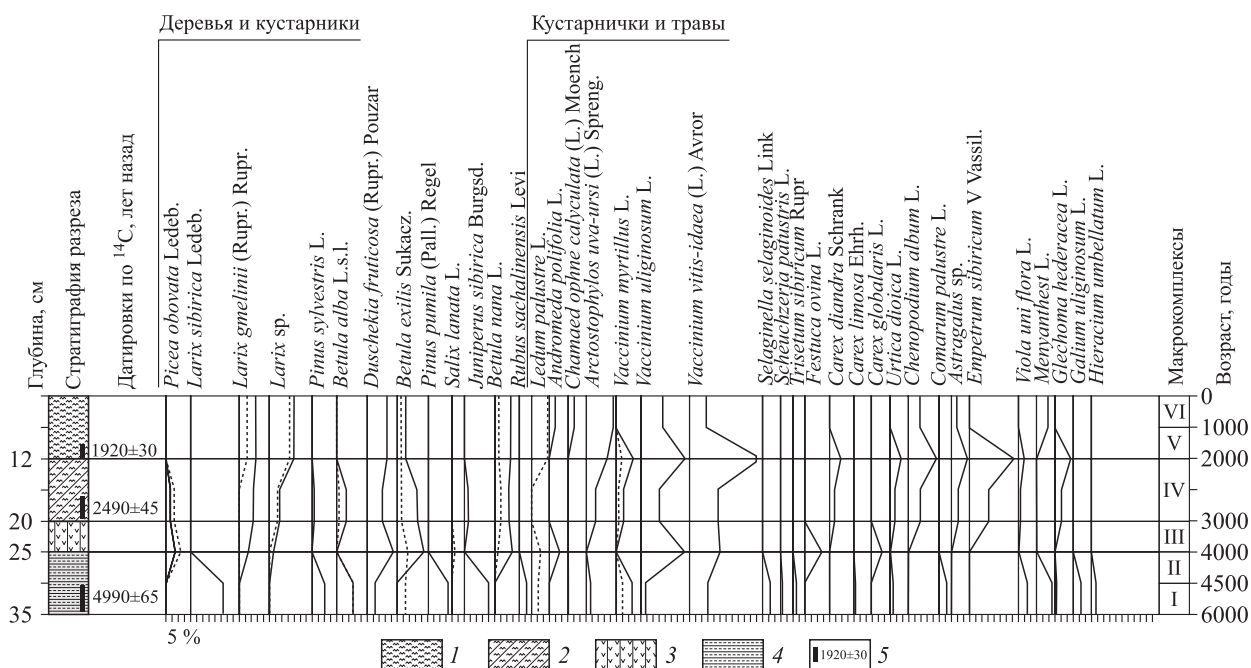


Рис. 3. Карпограмма разреза «Котуй».

Виды торфа: 1 – сфагновый, 2 – осоково-сфагновый, 3 – древесно-травяной, 4 – суглинок, 5 – глубина отбора образцов на радиоуглеродный анализ и датировка по ^{14}C (1920 ± 30 – СОАН-3110; 2490 ± 45 – СОАН-3106; 4990 ± 65 – СОАН-3105). Органы растений: 6 – генеративные, 7 – вегетативные.



Рис. 4. Карпограмма разреза «Чиринда».

Виды торфа: 1 – сфагновый, 2 – сфагново-осоковый, 3 – сфагново-хвощево-осоковый, 4 – травяно-осоковый, 5 – сулинок; 6 – глубина отбора образцов на радиоуглеродный анализ и датировка по ^{14}C (2410 ± 80 – Крил-38; 4650 ± 80 – Крил-37). Органы растений: 6 – генеративные, 7 – вегетативные.

Гмелина, л. сибирская, кедровый стланик. При изучении границ современных ареалов лиственницы Гмелина и л. сибирской, А. П. Абаймовым с соавт. (1980) была установлена специфическая зона их прямого контакта. Мы совместили с ней современный ареал кедрового стланика (Коропачинский, Встовская, 2002) и получили контактную зону уже трех эдификаторов: лиственница Гмелина, л. сибирская, кедровый стланик – это северная часть Северо-Байкальского нагорья. Она находится значительно восточнее и южнее совместных местонахождений их ископаемых представителей.

Наряду с этим был выявлен еще один территориальный участок, где произрастают только лиственница сибирская и кедровый стланик (крайний северо-запад северной части Северо-Байкальского нагорья) (рис. 5).

Для расчета прошлых аномальных отклонений некоторых климатических показателей были определены современные климатические параметры по данным метеостанций, находящихся на тех участках контактной зоны, где современные лесные формации в общем подобны по структуре и характеру реконструированным палеосообществам.

Ранее по палеокарпологическим данным, подтвержденным радиоуглеродным датированием, установленная контактная зона трех эдифи-

каторов фиксировалась дважды в атлантическом оптимуме голоцена Средней Сибири (Кошкарлова, Кошкаров, 2004; Koshkarova, Koshkarov, 2004; Кошкаров, Кошкарлова 2018).

Первое ее местонахождение было определено на территории Субарктики на 72° с. ш. по данным разреза «р. Новая» (рис. 5), датированным 6300 ± 45 л. н. (СО РАН-310).

Здесь уместно упомянуть, что по карпологическим данным М. В. Никольской (1982) еще раньше было отмечено произрастание кедрового стланика с лиственницами (*Larix* sp.) в среднем течении р. Боганида (рис. 5) 8800 ± 130 (ГИН-820) л. н.

Далее контактная зона трех эдификаторов была выявлена для центральной части Эвенкии около 7000 и 4990 ± 85 (СОРАН-4264) л. н. (разрез Стрелка – Чуя, рис. 5). В то время здесь вначале существовали южно-таежные сосново-лиственничные кустарничково-моховые, а затем – среднетаежные лиственничные кустарничково-моховые леса с участием, березы и кедрового стланика. Реконструированные климатические показатели по сравнению с современными: температура января выше на $4-2^\circ\text{C}$, июля – на $2-1^\circ\text{C}$, годовое количество осадков больше в среднем на 75 мм. Совместное произрастание кедрового стланика с лиственницей Гмелина было определено также для временно-

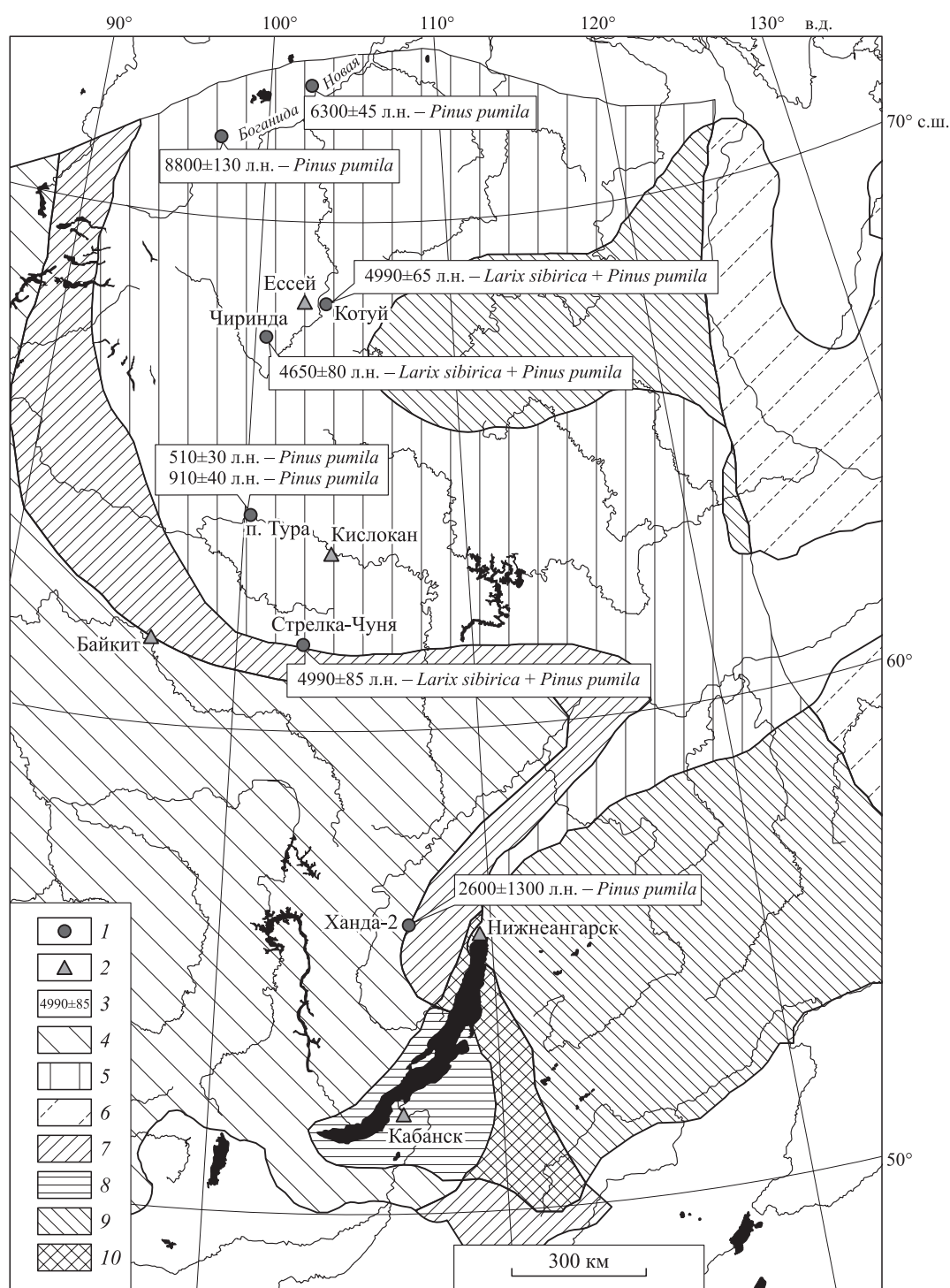


Рис. 5. Современные ареалы произрастания *Larix sibirica*, *L. gmelinii*, *Pinus pumila*.

Местоположение: 1 – разрез, 2 – метеостанций, 3 – датировки по ^{14}C . Ареалы: 4 – *Larix sibirica*, 5 – *L. gmelinii*, 6 – *Pinus pumila*. Области современного произрастания: 7 – *Larix sibirica* и *L. gmelinii*, 8 – *Larix sibirica* и *Pinus pumila*, 9 – *Larix gmelinii* и *Pinus pumila*, 10 – *Larix sibirica*, *L. gmelinii* и *Pinus pumila*.

го отрезка 910–510 л. н. в районе п. Тура (центральная часть Эвенкии) (Кошкарлова, Кошкарлов, 2005; Koshkarova, Koshkarov, 2005). Климат тогда был теплее и влажнее современного: среднегодовая температура выше на 2.5 °C, годовое количество осадков больше на 70 мм.

В итоге сопряженный анализ данных совместного местонахождения ископаемых остатков семенных чешуй шишек и семян лиственницы Гмелина, л. сибирской, кедрового стланика и их совместного современного произрастания позволил установить динамику их миграций и

Таблица 2. Позднеголоценовые растительные формации ключевого участка «Котуй»

Возраст, лет	Калиброванный возраст, лет до настоящего времени	¹⁴ C дата, лет от 1950 г.	Абсолютная высота над уровнем моря, м	
			400	500
Современный			Ольховниково-мохово-лишайниковая	Лиственничная (лиственница Гмелина) зеленомошно-кустарничковая редкостойная
0–1000			Ольховниково-ерниково-моховая	Лиственничная (лиственница Гмелина) бруснично-толокнянковая
1000–2000	1835	1920 ± 30	Ольховниково-мохово-травяно-ерниково-шикшевая	Лиственничная (лиственница Гмелина) травяно-кустарничково-брусничная, в подлеске голубика
2000–3000	2557	2490 ± 45	Ольховниково-голубично-мохово-ерниковая	Березово-лиственничная (лиственница Гмелина) с елью и единично с сосной кустарничково-брусничная
3000–4000			Ольховниково-осоково-злаково-ерниковая	Елово-лиственничная (лиственница Гмелина) с ольхой ерниково-голубичная
4000–4500			Ивняково-осоково-ерниковая	Сосново-березово-елово-лиственничная (лиственница сибирская и Гмелина), в подлеске с ольхой и голубикой, злаково-осоково-ерниковая
4500–6000	5725	4990 ± 65	Ерниково-травяная	Елово-березово-сосново-лиственничная (лиственница сибирская) травяно-кустарничковая, в подлеске с можжевельником сибирским, кедровым стлаником и малиной сахалинской

определить количественные климатические показатели по временным отрезкам голоцена.

Эколого-фитоценологическое изучение палеокарпологического материала позволило составить схему непрерывной динамики видовой структуры доминирующих растительных формаций в бассейне среднего течения р. Котуй за последние 6000 лет по конкретным гипсометрическим уровням (табл. 2, 3).

Несмотря на фитоценологическое различие восстановленной динамики лесных формаций в разных точках территории исследования, они последовательно развивались в соответствии с изменениями общего климатического режима и рельефа.

На основании синтеза палеокарпологического материала, рассмотренного выше, эволюция растительности в среднем течении р. Котуй с учетом калиброванных значений радиоуглеродного возраста восстанавливается по шести временным интервалам, в которых характер растительного покрова и существовавшая климатическая обстановка выявили наибольшее сходство с экстремумами потеплений и похолоданий, установленными для Центральной Якутии (матрица динамики ландшафтно-климати-

ческих условий в голоцене) А. А. Андреевой и В. А. Климановой (Изменение..., 1999).

Территория исследования в интервале 6000–4500 л. н. была повсеместно занята смешанной тайгой среднетаежного облика, образованной лиственницами сибирской, елью, сосной, кедровым стлаником и участием в травяном покрове бореальных видов. Реконструкция природной среды, судя по средним отклонениям некоторых климатических показателей (по данным метеостанции Кабанск аналоговой территории, рис. 5), отразила существование более мягкого и теплого климата, чем в настоящее время. Температуры были выше современных: в январе – на 17 °С (–20 °С), а в июле – на 4° (17 °С), количество осадков также превышало современный уровень: в холодный период на 28 мм (80 мм), а в теплый – на 130 мм (361 мм).

Далее около 4500–4000 л. н. произрастание ели и сосны в составе лесов сокращается, но появляется более морозоустойчивая лиственница Гмелина, что было обусловлено, вероятно, незначительным похолоданием, которое фиксируется и на Ангара-Ленском плато (Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014).

Таблица 3. Динамика позднеголоценовых растительных формаций ключевого участка «Чиринда»

Возраст, лет	Калиброванный возраст, лет до настоящего времени	¹⁴ C дата, лет от 1950 г.	Абсолютная высота над уровнем моря, м	
			300	400
Современный			Ерниково-мохово-лишайниковая	Лиственничная (лиственница Гмелина) зеленомошно-кустарничковая редкостойная
0–1000			Ольховниково-ерниково-моховая	Лиственничная (лиственница Гмелина) голубично-ерниковая
1000–2000			Мохово-ерниково-шейхцерицево-осоковая	Лиственничная (лиственница Гмелина) шикшицево-бруснично-голубичная
2000–3000	2488	2410 ± 80	Ольховниково-мохово-пушицево-осоковая	Елово-лиственничная (лиственница Гмелина) с ольхой осочково-кустарничковая
3000–4000			Ольховниково-мохово-ерниково-осоковая	Березово-ольховниково-елово-лиственничная (лиственница сибирская, единично лиственница Гмелина) кустарничковая, в подлеске с ольхой, кедровым стлаником и можжевельником сибирским
4000–6000	5385	4650 ± 80	Травяно-ерниково-осоковая зарастающего озера	Елово-березово-лиственничная (лиственница сибирская) травяно-кустарничковая с участием сосны и в подлеске – малина сахалинская

В период 4000–3000 л. н. климатические условия продолжают ухудшаться, главным образом за счет понижения зимних температур и уменьшения среднегодовых осадков. Так, реконструированная температура января (данные метеостанции Нижнеангарск аналоговой территории, рис. 5) понизилась на 3° (–23 °C), а июля – на 1° (16 °C), количество осадков в холодный период осталось прежним (80 мм), а в теплый период уменьшилось на 67 мм (298 мм). Это способствовало усилению роли лиственницы Гмелина в лесном покрове, а л. сибирской и кедровому стланику – перемещению в более низкий высотный пояс растительности. Следует отметить, что в настоящее время на фоне общего потепления климата наибольшее повышение температуры зафиксировано в зимний период для Сибири и Северо-Европейской территории России (Климов, Зиненко, 2003; Мелешко и др., 2003).

Для периода 3000–2000 л. н. характерно резкое похолодание и нарастание континентальности климата: температура января понизилась на 14° (–37 °C) (данные метеостанции Кислокан аналоговой территории, рис. 5), а июля – на 1° (15 °C), количество осадков в холодный период понизилось на 17 мм (63 мм), а в теплый период – на 40 мм (258 мм). Это привело к господству редкостойных лиственничных ольхов-

никово-кустарничково-моховых формаций из лиственницы Гмелина, с единичным участием ели. Такое резкое ухудшение климатических условий в этот отрезок времени проявилось на всей территории Северного полушария (Развитие..., 2010).

В интервале 2000–1000 л. н. произошло улучшение климатических условий: по данным метеостанции Байкит аналоговой территории (рис. 5), температура января увеличилась на 5° (–32 °C), а июля – на 2° (17 °C), количество осадков в холодный период увеличилось на 80 мм (143 мм), а в теплый период – на 98 мм (355 мм). Таким образом, наступившее потепление и уменьшение континентальности климата способствовали увеличению лесистости, развитию лиственничных среднетаежных лесов с елью и участием в травяном покрове бореальных (индикационных) видов. Это фиалка одноцветковая, шейхцерия болотная, осока шаровидная, о. двусеменная, будра плющевидная и др., современное распространение которых ограничивается северной границей средней тайги.

Около 1000 л. н. произошло ухудшение климатических условий – они стали близки современным: температура января понизилась на 5° (–37 °C), а июля – на 4° (13 °C), количество осадков в холодный период уменьшилось на 91 мм

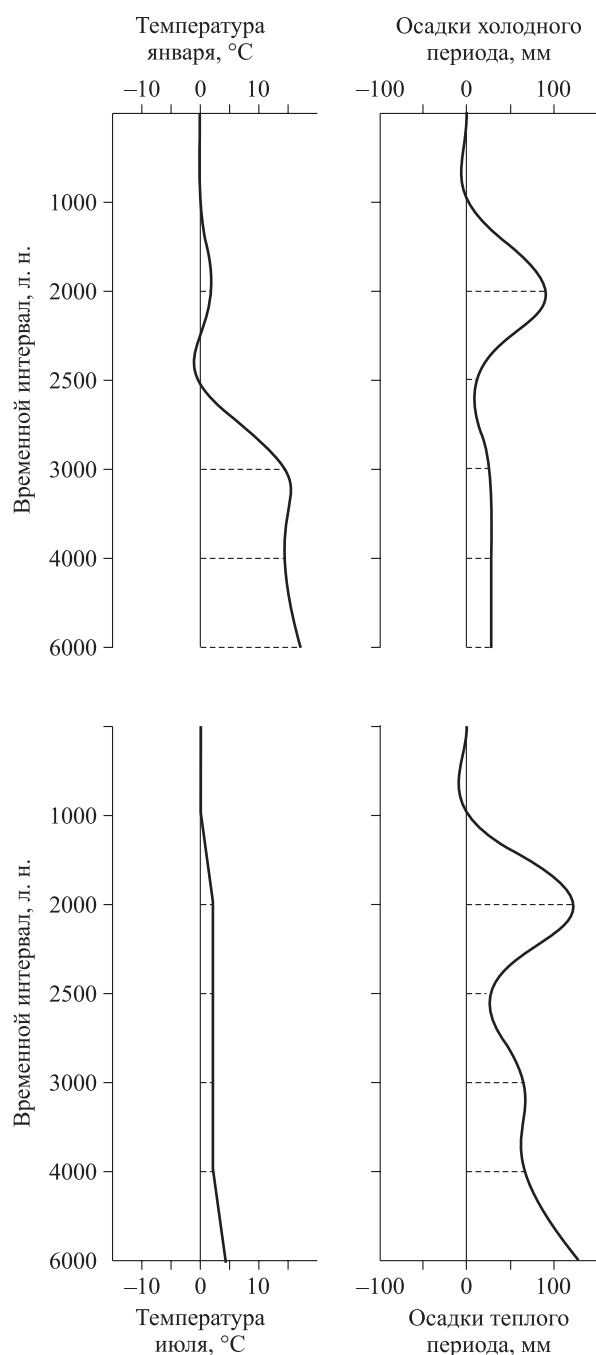


Рис. 6. Климатические показатели в среднем течении р. Котуй в голоцене по результатам исследования.

(52 мм), а в теплый период – на 124 мм (231 мм). Такая климатическая обстановка фактически не менялась за последние 1000 лет, что способствовало длительному сроку существования лесорастительных условий, подобных современным. Для оценки изменения климата в среднем течении р. Котуй были рассчитаны аномальные отклонения климатических показателей от современных (разница между градиентами современными и реконструированными) для каждого временного отрезка позднего голоцена (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в динамике лесных формаций в бассейне среднего течения р. Котуй во второй половине голоцена проявились общие закономерности эволюции растительного покрова и изменения климата центральной части Средней Сибири, выявленные по палинологическим данным (Савина, МIRONENKO, 1984; Никольская, 1982; Никольская и др., 1985; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014). Корреляция полученного палеокарпологического материала также показывает четкое совпадение смен растительного покрова с хорошо датированными записями значительных «быстрых» глобальных изменений голоценового климата из обоих полушарий (Mayewski et al., 2004; Развитие..., 2010; Groisman P. A. Et al., 2013), которые фиксируют шесть временных периодов. После климатического оптимума (9.0–6.0 тыс. л. н.) следует тенденция постепенного понижения теплообеспеченности с интервалами значительного глобального похолодания разной степени значимости: 6.0–5.3, 4.2–3.8, 3.2–2.4, 1.2–1.0, 0.60–0.15 тыс. л. н. Но при этом растительность не каждого региона одинаково и синхронно реагирует на эти изменения. Так, в Скандинавии, несмотря на наступление ледников в интервале 6000–5000 кал. л. н. (Svensson et al., 2008), граница леса не только не опускалась, но и поднималась выше. В это же время (6000–4600 лет назад) фиксируется климатический оптимум для территории Центральной Якутии. Для среднего течения р. Котуй около 5725–4500 л. н. также отмечается повышенное в сравнении с современным биоразнообразие растительного покрова и формирование формаций смешанных лесов (лиственница Гмелина, л. сибирская, кедровый стланик, ель сибирская) как результат повышенной тепло- и влагообеспеченности. Таким образом, 700-летнее глобальное похолодание (6000–5300 л. н.) не получило отклика в растительном покрове упомянутых выше территорий.

С нарастанием континентальности климата и похолоданием (максимум 3000–2500 л. н.) биоразнообразие лесного покрова падает, и доминирующей формацией становится редкостойная лиственничная (лиственница Гмелина). Последующее потепление, начиная с 2000 л. н., активизирует лесообразовательный процесс и создает климатические условия для развития лесных формаций с доминированием лиственницы Гмелина.

Наступившее глобальное похолодание (1200–1000 л. н.) способствовало деградации лесных формаций за счет распространения травяно-кустарничковых сообществ. Особо следует отметить отступление на запад лиственницы сибирской и расширение ареалов лиственницы Гмелина и кедровый стланик на рубеже климатического оптимума и позднего голоцена. Таким образом, растительность и климат исследуемой территории реагировали на значительные «быстрые» глобальные похолодания, но не синхронно и одинаково, несмотря на их мировой масштаб, и имели свои специфические особенности. Это обуславливает необходимость набора региональных палеогеографических реконструкций, чтобы избежать риска использования данных из одного района для экстраполяции на другой (Mayewski et al., 2004; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014).

Выполненные исследования пополнили банк данных по видовому биоразнообразию растительности детально-региональной информацией. Таксономическое разрешение эколого-ценотических спектров растительных палеосообществ впервые для данной территории составило 53 таксона, из них 49 – виды. Была воссоздана непрерывная динамика доминирующих фитоценозов и ценотипов древесных пород по формам рельефа на территории среднего течения р. Котуй под воздействием глобального изменения климата за последние 6000 лет, что будет способствовать более надежному научному прогнозу при решении вопросов регионального рационального природопользования.

Работа подготовлена по государственному заданию, при выполнении базового проекта ИЛ СО РАН «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абаимов А. П., Карпель Б. А., Коропачинский И. Ю. О границах ареалов сибирских видов лиственницы // Бот. журн. 1980. Т. 65. № 1. С. 118–120.

Абаимов А. П., Милютин Л. И. Современные представления о лиственницах Сибири и проблемы их изучения // Проблемы дендрологии: Чтения памяти акад. В. Н. Сукачева. Новосибирск: Наука, 1995. С. 41–60.

Безрукова Е. В., Белов А. В., Летунова П. П., Кулагина Н. В. Отклик природной среды Ангаро-Ленского плато на глобальные изменения климата в голоцене // Геол. и геофиз. 2014. Т. 55. № 4. С. 594–604.

Бобров Е. Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1978. 188 с.

Будыко М. И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата // Метеорол. и гидрол. 1991. № 4. С. 39–49.

Букс И. И., Байбородин В. Н., Тимирбаева Л. С. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. М. 1 : 7 500 000 / Ред. В. Б. Сочава. Иркутск: Ин-т геогр. Сибири СО АН СССР, 1977.

Волкова В. С. Стратиграфия и история развития растительности Западной Сибири в позднем кайнозое. М.: Наука, 1977. 238 с.

Гричук В. П. Опыт реконструкции некоторых элементов климата северного полушария в атлантический период голоцена // Голоцен: Сб. ст. М.: Наука, 1969. С. 41–57.

Дендрология с основами лесной геоботаники: учеб. для лесотех. вузов и техникумов / Под ред. В. Н. Сукачева. Л.: Гослестехиздат, 1934. 614 с.

Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Под ред. А. А. Величко. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.

Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 255 с.

Климов О. В., Зиненко В. И. Изменение климата Западной Сибири и возможные социально-экономические последствия // Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сент. – 3 окт. 2003 г. М., 2003. С. 294.

Коропачинский И. Ю. Древесные растения Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 384 с.

Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. 707 с.

Коротков И. А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 1994. С. 29–47.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Воздействие глобальных изменений климата на динамику лесных экосистем Касской равнины (Западная Сибирь) // Лесоведение. 2000. № 3. С. 12–21.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Многовековая динамика морфоструктуры лесных экосистем в центральной части Эвенкии в контексте глобальных изменений климата // Евраз. союз ученых. 2018. № 9 (54). С. 4–8.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Морфологические особенности женских генеративных органов некоторых видов хвойных как надежные признаки видовой диагностики их ископаемых аналогов при реконструкции динамики климатических трендов // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: Материалы Всерос. конф. с междунар. участ., Красноярск, 26–31 авг. 2019 г. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2019. С. 203–205.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Эколого-географические особенности формирования лесных формаций в среднем течении Нижней Тунгуски в послеледниковое время // Усп. совр. естествозн. 2021. № 2. С. 100–106.

Кошкарлова В. Л., Ваганов Е. А., Кошкарлов А. Д. Пространственно-временная динамика лесной растительности Субарктики Средней Сибири за последние 9 тысяч лет // ДАН. 1997. Т. 355. № 5. С. 712–715.

- Кошкарлова В. Л., Кошкаров А. Д. Региональные особенности изменения ландшафтов и климата севера Средней Сибири в голоцене // Геол. и геофиз. 2004. Т. 45. № 6. С. 717–729.
- Кошкарлова В. Л., Кошкаров А. Д. Палеоэкология и динамика лесных экосистем в центральной части Эвенкии за последние 2400 лет // Экология. 2005. № 1. С. 3–10.
- Кошкарлова В. Л., Кошкаров А. Д., Кольцова В. Г. Климатическая обусловленность динамики позднеголоценовых ценотипов древесных пород во внутреннем экотоне лесов Восточного Саяна // Экология. 2006. Т. 39. № 5. С. 350–359.
- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А. Возможные антропогенные изменения климата России в 21 веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сент. – 3 окт. 2003 г. М., 2003. С. 51.
- 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.
- Никольская М. В. Палеоботанические и палеоклиматические реконструкции голоцена Таймыра // Антропоген Таймыра: Сб. науч. тр. М.: Наука, 1982. С. 148–157.
- Никольская М. В., Пирумова Л. Г., Климанов В. А., Черкасова М. П. Динамика палеофлор севера Средней Сибири в позднем плейстоцене и голоцене (по палеофитологическим и геохронологическим материалам) // Древние климаты и осадконакопление в восточной окраине Азии: Сб. науч. тр. Владивосток: ДВ науч. центр АН СССР, 1985. С. 117–126.
- Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен / Под общ. ред. А. А. Величко. М.: GEOS, 2009. 120 с.
- Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен – голоцен – элементы прогноза. Атлас-монография / Под ред. проф. А. А. Величко. М.: ГЕОС, 2010. Вып. 3. 220 с.
- Савина Л. Н., Мироненко О. Н. Растительность бассейна оз. Чиринда (Северная Эвенкия) в позднем голоцене // Бюл. Комис. по изуч. четвертичного периода. № 53. М.: Наука, 1984. С. 122–124.
- Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1966а. Вып. 21. Ч. II. 360 с.; 1966б. Вып. 22. Ч. II. 360 с.; 1966в. Вып. 23. Ч. II. 318 с.; 1967. Вып. 24. Ч. II. 340 с.; 1968а. Вып. 22. Ч. IV. 279 с.; 1968б. Вып. 23. Ч. IV. 328 с.; 1968в. Вып. 24. Ч. IV. 351 с.; 1969. Вып. 21. Ч. IV. 402 с.
- Старилов Э. В., Жидовленко В. А. Радиоуглеродные датировки Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. Сообщ. 2 // Бюл. Комис. по изуч. четвертичного периода. М.: Наука, 1981. № 51. С. 182–184.
- Тесаков Ю. И. О соотношении хроно- и биостратиграфических подразделений (на примере силура) // Геол. и геофиз. 2015. Т. 56. № 4. С. 805–829.
- Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. Опыт транс-континентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука, 1977. 200 с.
- Флора Сибири. В 14 т. / Под ред. Л. И. Малышевой. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1987–2003.
- Bezrukova E. V., Belov A. V., Letunova P. P., Kulagina N. V. The response of the environment of the Angara-Lena Plateau to global climate change in the Holocene // Rus. Geol. Geophys. 2014. V. 55. N. 4. P. 463–471 (Original Rus. Text © E. V. Bezrukova, A. V. Belov, P. P. Letunova, N. V. Kulagina, 2014, publ. in Geol. & Geofiz. 2014. V. 55. N. 4. P. 594–604).
- Groisman P. A., Blyakharchuk T. A., Chernokulsky A. V., Arzhanov M. M., Marchesini L. B. M., Bogdanova E. G., Borzenkova I. I., Bulygina O. N., Karpenko A. A., Karpenko L. V., Knight R. W., Khon V. Ch., Korovin G. N., Meshcherskaya A. V., Mokhov I. I., Parfenova E. I., Razuvaev V. N., Speranskaya N. A., Chebakova N. M., Vygodskaya N. N. Climate changes in Siberia In: Reg. environ. changes in Siberia and their global consequences / Pavel Ya. Groisman and Garik Gutman (Eds.). Springer Dordrecht, 2013. P. 57–109.
- Koshkarova V. L. Vegetation response to global and regional environmental change on the Taimir Peninsula during the Holocene // Polar Geogr. 1995. V. 19. Iss. 2. P. 145–151.
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Regional signatures of changing landscape and climate of northern Central Siberia in the Holocene // Rus. Geol. Geophys. 2004. V. 45. N. 6. P. 672–685 (Original Rus. Text © V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov, 2004, publ. in Geol. & Geofiz. 2004. V. 45. N. 6. P. 717–729).
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Paleoeecology and dynamics of forest ecosystems in Central Evenkia during the past 2400 years // Rus. J. Ecol. 2005. V. 36. N. 1. P. 1–7 (Original Rus. Text © V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov, 2005, publ. in Ekologiya. 2005. N. 1. P. 3–10).
- 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. N. 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).
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C., Karlen W., Maasch K. A., Meeker L. D., Meyerson E. A., Gasse F., van Kreveld Sh., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R. R., Steig E. J. Holocene climate variability // Quatern. Res. 2004. V. 62. Iss. 3. P. 243–255.
- Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Ramsey C. B., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., Plicht J. van der, Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration Curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. Iss. 4. P. 725–757.

Svensson A., Andersen K. K., Bigler M., Clausen H. B., Dahl-Jensen D., Davies S. M., Johnsen S. J., Muscheler R., Parrenin F., Rasmussen S. O., Röthlisberger R., Seierstad I., Steffensen J. P., Vinther B. M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // *Clim. Past*. 2008. V. 4. Iss. 1. P. 47–57.

Tesakov Yu. I. Correlation of chronostratigraphic and biostratigraphic units (example of the Silurian System) // *Rus. Geol. & Geophys.* 2015. V. 56. N. 4. P. 631–651 (Original Rus. Text © Yu. I. Tesakov, 2015, publ. in *Geol. & Geofiz.* 2015. V. 56. N. 4. P. 805–829).

ECOLOGICAL AND CENOTIC FEATURES OF THE FORMATION OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE MIDDLE REACHES OF THE KOTUY RIVER IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov

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

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

The article highlights the results of a paleobotanical study of peat deposits in the basin of the middle reaches of the river Kotuy (Northern Evenkia). The macro-remains of fossil plants became the basic material for the study. Based on the change in the species composition of fossil objects and radiocarbon dating by ^{14}C , the dynamics of the phytocenotic structure of changes in the structure of forest formations from 6000 years ago to the present is reconstructed. A quantitative assessment of their climatic conditionality is given. At the beginning of the period under consideration, because of warming and increasing humidity, the biodiversity of the vegetation cover increases and the formation of mixed forests (Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)) is formed. With an increase in the continentality of the climate and cooling, biodiversity decreases, and the sparse larch (Gmelin larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)) becomes the dominant formation. The dynamics of the boundaries of the ranges of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), Gmelin larch, Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) at the boundary of the climatic optimum and in the late Holocene was established.

Keywords: *vegetation reconstruction, plant macroremains, climate, Holocene, geochronology, Northern Evenkia.*

How to cite: Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Ecological and cenotic features of the formation of forest ecosystems in the middle reaches of the Kotuy River in the context of global climate change // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 57–69 (in Russian with English abstract and references).