

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630*182.25:528.9

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ФОРМАЦИЙ ГОЛОЦЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИМАТА – ТЕПЛА И ВЛАГИ

С. К. Фарбер, В. Л. Кошкарова, Н. С. Кузьмик

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

E-mail: sfarber@ksc.krasn.ru, avkashkara@akadem.ru, natalia_5791@mail.ru

Поступила в редакцию 26.12.2016 г.

Рассматривается методика картографирования лесных формаций голоцена на основе цифровых моделей рельефа и основных показателей климата – тепла и влаги. Работа выполнена средствами геоинформационной системы. Тестовый участок расположен в границах Осеево-Западносибирского округа горно-таежных лесов, что обеспечивает однородность природно-климатических условий. Этапы методики: создание растров по группам абсолютных высот, экспозиций и уклонов с их последующим комбинированием в один растр *Combine*; получение закономерностей пространственного распределения тепла и влаги и их представление в виде растров (цифровых моделей); интерактивное картографирование лесов голоцена при различных сочетаниях тепла и влаги. Использование растра *Combine* дает возможность отказаться от использования в качестве выделов любых других контуров – ландшафтных, геоморфологических или лесотаксационных. Для определения параметров климатических границ лесных формаций производится привязка типов леса к показателям тепла и влаги. В результате привязки komponуется графическое изображение, где в определенном порядке показаны лесные формации и их производительность. Методика картографирования предполагает создание таблицы *dBASE* с полем, содержащим сведения о лесных формациях. Построчное изменение записей лесных формаций по мере перехода к другим значениям тепла и влаги выполняется в интерактивном режиме. Каждому следующему сочетанию тепла и влаги на карте соответствует определенное распределение лесных формаций и классов бонитета. Долины рек (1900 ± 65) лет назад были безлесны, плоские местоположения занимали луга, склоны – степи. По мере увеличения гипсометрического уровня появляются лиственничные насаждения, елово-кедровые с примесью лиственницы, кедрово-лиственничные с примесью пихты, кедровые формации. Тундры преобладали (2200 ± 100) лет назад. Лиственничные леса V–Va классов бонитета располагались в долинах рек. Ландшафты (2640 ± 70) лет назад были похожи на современные. Отличия заключались в том, что долины рек были безлесны, сосняки отсутствовали, лиственничный пояс располагался выше и производительность древостоев в целом была выше, а кедровые и кедрово-лиственничные редколесья распространены меньше.

Ключевые слова: *периоды голоцена, типы леса, рельеф, климат, закономерности распределения тепла и влаги, картографирование лесных формаций.*

DOI: 10.15372/SJFS20170602

ВВЕДЕНИЕ

Идеи трансформации лесного покрова сформулированы Г. Ф. Морозовым (1970, 1971), считавшим, что получение данных об изменениях лесных сообществ в историческом времени – важнейшая задача лесоводства. Действитель-

но, без понимания механизмов динамического равновесия при лесопользовании зачастую превышаются критические пороги устойчивости лесных экосистем, в результате чего леса деградируют. В основе методов реконструкции растительного покрова лежит принцип актуализма, т. е. предположение о неизменности законов при-

роды в прошлом и настоящем. Только благодаря такому роду допуска появляется возможность описывать ландшафты климатически различающихся периодов голоцена, судить о наличии в то время определенных видов растительности, таксационных показателей и динамике лесов.

В органогенных голоценовых отложениях сохраняются ископаемая древесина, плоды и пыльца растений, поэтому для реконструкции растительного покрова применяют спорово-пыльцевой, карпологический и ксилологический методы исследований. Исключение составляет пыльца лиственницы, которая не всегда хорошо сохраняется; пыльца осины, тополя, а также семена осины, тополя, ив вообще не сохраняются (Кац и др., 1965). В ископаемых комплексах эти виды древесной и кустарниковой растительности опознаются по остаткам вегетативных органов (коры, древесины, листовых подушек). Посредством обработки и анализа ископаемого материала получают список видов растений, произраставших в определенный исторический отрезок времени. Далее, опираясь на эколого-биологические особенности видов растений, на сохранность остатков, по гипсометрическим уровням устанавливают типы палеосообществ (Нейштадт, 1976; Елина, 1981; Хотинский, 1982; Кошкарлов, 1998; Кошкарлова, Кошкарлов, 2004, 2005, 2015; Koshkarova, Koshkarov, 2005; Елина и др., 2005; Елина, Филимонова, 2007; Кошкарлов, Кошкарлова, 2013). Реконструкция лесов послеледниковой эпохи раскрывает взаимосвязи между лесной растительностью и средой обитания, которая определяется динамикой климата при неизменных показателях рельефа.

Картографический метод позволяет выявлять пространственно-географическую структуру, изучать взаимосвязи и взаимозависимости в геосистемах (Берлянт, 1986). Геоботанические карты содержат информацию о фитоценологических, флористических, структурных, динамических и других свойствах растительности (Сочава, 1979). Это относится и к картографированию растительного покрова прошлого. Пространственная привязка типов палеосообществ и интерпретация результатов картографирования существенно дополняют результаты анализа остатков растительности по временным срезам голоцена традиционными методами палеоботаники. Картографирование является заключительным этапом изучения лесов.

Известны примеры картографирования голоценовой растительности (Нейштадт, 1957; Zernitskaja, 1995; Власенко, 2003; Елина и др., 2005). Соотнесение палеосообществ и опреде-

ленных характеристик местности (форм рельефа, литологических отложений и т. д.) производится с учетом показателей палеоклимата и взаимосвязей современных растительных разностей с природно-климатическими условиями. Важное значение имеет квалификация исполнителя. Предполагается, что рельеф и литологический состав осадочных пород до настоящего времени остаются неизменными. Поэтому в качестве контурной основы используются геологические и геоморфологические выделы (Елина, Филимонова, 2007).

Цель данной работы – разработка методики картографирования лесных формаций периодов голоцена на основе цифровых моделей рельефа (ЦМР) и основных показателей климата – тепла и влаги. Обязательное условие – территория картографирования должна относиться к физико-географическому району, обладающему сходством природно-климатических условий (по А. Г. Исаченко, 1991). Пространственный анализ ЦМР позволяет отказаться от использования в качестве единиц картографирования ландшафтных, геоморфологических, лесотаксационных или любых других контуров (полигонов); принцип актуализма допускает использование существующих в настоящее время взаимосвязей лесных сообществ и основных показателей климата – тепла и влаги.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Современное состояние растительного покрова сопряжено с показателями рельефа местности, поэтому среди различных направлений геоботанического картографирования следует особо обозначить корреляционное эколого-фитоценологическое. По замыслу В. Б. Сочавы (1979), на корреляционной эколого-фитоценологической карте соотношение растительности с факторами среды находит количественное выражение, а границы геоботанических выделов будут связаны с показателями тепла и влаги, а также рельефа и продуктивности растительности (Юрковская, 2007). Сопряженность элементов рельефа с типами лесов приводится и для лесов Тывы (Фарбер, Кошкарлова, 2013). Принципиальная возможность перехода к картографированию лесов прошлого появляется при условии, что вне зависимости от привязки к временным срезам голоцена для региона, однородного по происхождению рельефа и направлению процесса денудации, произрастание лесных формаций и их продуктивность лимитируются климатическими показателями, основными из кото-

рых являются тепло и влага. Принимается, что рельеф местности за время голоцена существенно не изменился. Климатические показатели таким постоянством не обладают, но лесорастительные условия определяют, главным образом, они. В голоцене периоды похолодания и повышенного увлажнения сменялись на периоды потепления и более засушливого климата. Отсюда следует, что для картографирования лесов (лесных формаций) по временным срезам голоцена требуется учет закономерностей распределения климатических показателей (тепла и влаги) по формам рельефа.

Тестовый участок занимает северо-восточную часть Осевого Западносибирского округа горно-таежных лесов (рис. 1).

Территория отвечает требованию однородности рельефа и природно-климатических показателей. Лесные сообщества тестового участка в закономерном порядке занимают местоположения, к лесорастительным условиям которых они эволюционно приспособлены. Разнообразие породного состава лесов, а также наличие корреляционной связи производительности древостоев с абсолютными высотами местности позволяют эффективно использовать палеоботаническую информацию в качестве сравнительного эталона с картами растительности, составленными для различных периодов голоцена с их вариантами климатического режима.

Картографирование выполняется средствами геоинформационной системы (ГИС – Arc GIS 9.3.1). Методика сводится к последовательному выполнению этапов:

– создание растров по группам абсолютных высот, экспозиций и уклонов с их последующим комбинированием в один растр *Combine*;

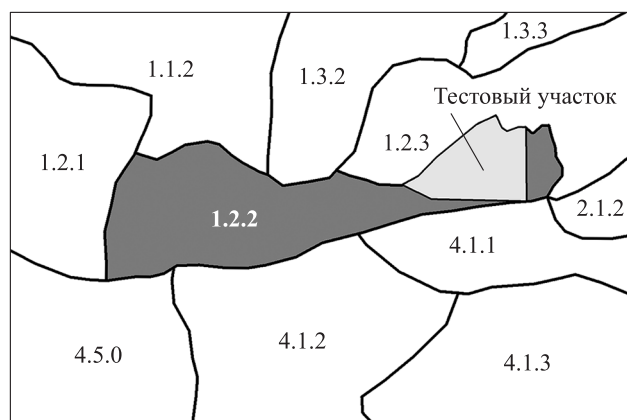


Рис. 1. Тестовый участок на фоне лесорастительного районирования гор Южной Сибири (Смагин и др., 1980). Примечание: нумерация таксонов районирования сохранена; Осевой Западносибирский округ – 1.2.2.

Таблица 1. Индексация местоположений по экспозициям и уклонам

Экспозиция	Уклон		
	1 (до 3°)	2 (от 3° до 20°)	3 (более 20°)
1 (северная)	11	12	13
2 (южная)	21	22	23

– получение закономерностей пространственного распределения тепла и влаги и их представление в виде растров (цифровых моделей);
– картографирование лесов (лесных формаций) при различных сочетаниях тепла и влаги.

Создание растров абсолютных высот, экспозиций и уклонов. Для индексации местоположений приняты входы:

– абсолютные высоты (градация 100 м, с образованием 12 высотных поясов);
– склоны северной экспозиции (0°–90°, 270°–360°);
– склоны южной экспозиции (90°–270°);
– плоские местоположения (поймы водотоков и водоразделы);
– склоны средней крутизны (от 3° до 20°);
– крутые склоны (более 20°).

Первому высотному поясу отвечают высоты до 900 м, второму – от 901 до 1000 м и т. д. Последний (12-й) пояс занимает высоты более 1901 м. Северная экспозиция – 1, южная – 2. Уклоны до 3° обозначаются индексом 1, до 20° – 2, более 20° – 3. Две градации экспозиции и три градации уклонов образуют 6 типов местоположений (табл. 1).

Поставим впереди индекс высотного пояса, далее следуют индексы экспозиции и уклона. Такая форма записи отражает полный индекс местоположений. Например, выражение 2–12 – отвечает абсолютным высотам от 901 до 1000 м, склонам северной экспозиции крутизной от 3° до 20°.

Для пространственного анализа показателей рельефа используются данные ЦМР. Результатом выполнения этапа является получение растровых поверхностей абсолютных высот, экспозиций и уклонов местности. Посредством их комбинирования формируется общая растровая поверхность *Combine* – модель рельефа, объединяющая группы высот, экспозиций и уклонов. В атрибутивной таблице растра *Combine* создается поле ВЭУ (высота, экспозиция, уклон) со значениями индексов местоположений. Далее поле ВЭУ используется в качестве ключевого для связи с атрибутивной таблицей пространственного распределения тепла и влаги.

Закономерности пространственного распределения тепла и влаги. Взаимосвязь типа растительного покрова с показателями климата обсуждается в работах Н. П. Поликарпова и др. (1986), В. П. Седельникова и др. (2005), В. А. Шкляева и др. (2010). К сожалению, эмпирические данные о количестве тепла и влаги, которые соотносились бы с определенной формой рельефа и типом леса, отсутствуют. На территории тестового участка такого рода исследования не проводились, поэтому значения тепла и влаги могут быть получены только посредством интерпретации данных из литературных источников. Связи растительности и условий среды выявляются посредством использования методов ординации – упорядочения объектов изучения вдоль каких-либо осей, определяющих варьирование растительности (Александрова, 1969; Раменский, 1971 и др.). Фитоценозы по свойственным им признакам или экотопу размещают в системе координат (Работнов, 1983). Наш опыт привязки типов леса к показателям тепла и влаги, проведенный на примере Улугхемского лесорастительного округа Тывы, обнаружил связь с количеством активных температур ($\sum t > 10^\circ\text{C}$) и слабую связь с годовым количеством осадков (мм/год) (Мурзакматов и др., 2014). Следовательно:

– величины $\sum t > 10^\circ\text{C}$, отвечающие определенным типам леса, можно использовать в качестве показателя тепла;

– применение годового количества осадков (мм/год) в качестве измерителя влаги требует дополнительного подтверждения.

Сведения о приуроченности типов леса к показателям рельефа содержатся в их диагностических таблицах. Поскольку растровые поверхности тепла и влаги должны в атрибутивной таблице иметь поле ВЭУ, то предварительно требуется привязка типов леса к группам высот, экспозиций и уклонов. В результате выполнения этого этапа получаем таблицу, которая содержит поля тепла и влаги. Формат таблицы должен позволять присоединять ее к атрибутивным таблицам слоев проекта ГИС (в нашем случае по ключевому полю ВЭУ). В нашей работе использована таблица *dBASE*, которую удобно создавать посредством экспорта атрибутивной таблицы раstra *Combine*.

Создание растровой поверхности тепла.

Для отдельных местоположений по данным $\sum t > 10^\circ\text{C}$ производится расчет уравнений регрессии $\text{ТЕМПЕРАТУРА} = f(H)$, где:

– *ТЕМПЕРАТУРА* – годовая сумма активных температур, $^\circ\text{C}$;

– *H* – абсолютная высота, м.

Если уравнения для отдельных местоположений выявят закономерность, т. е. южные склоны и меньшие абсолютные высоты местности будут иметь более высокие значения температуры, то эти зависимости можно использовать для расчета температур. В противном случае следует пересчитать зависимости, отталкиваясь от общего уравнения $\text{ТЕМПЕРАТУРА} = f(H)$, полученного с использованием данных всех используемых в анализе лесорастительных округов. Создание растровой поверхности тепла производится с использованием значений поля температур в таблице *dBASE* после ее соединения с атрибутивной таблицей раstra местоположений по ключевому полю ВЭУ.

Создание растровой поверхности влаги.

Для отдельных местоположений по значениям годового количества осадков производится расчет уравнений регрессии $\text{ОСАДКИ} = f(H)$, где *ОСАДКИ* – годовое количество осадков, мм/год.

При отсутствии связи использовать количество осадков в качестве измерителя влаги нельзя, требуется выбор другого показателя. Альтернативой может служить индекс влажности, который в экспертном порядке можно определить для каждого типа леса. Ранжирование типов леса от сухих местоположений к влажным производится с учетом подстилающей породы, типа почвы, наличия видов растительности. Порядковый номер типа леса в ряду отождествляется с индексом влажности. Далее по местоположениям строятся уравнения регрессии $\text{ВЛАЖНОСТЬ} = f(H)$. При наличии достоверной связи уравнения используются для расчета значений поля влажности таблицы *dBASE*. Создание растровой поверхности влаги производится после соединения таблицы *dBASE* с атрибутивной таблицей раstra местоположений по ключевому полю ВЭУ.

Картографирование лесных формаций при различных сочетаниях тепла и влаги.

В сходных лесорастительных условиях могут произрастать различные насаждения, что связано с направлениями, стадиями и фазами сукцессий (Фарбер, 2000), поэтому одному местоположению могут соответствовать несколько типов леса. Для выявления современного состояния растительного покрова используются аэрокосмические снимки. Использование снимков для картографирования лесов прошлого исключено, поэтому в легенде не могут фигурировать типы леса, их таксационные показатели, а также производные листовенные насаждения. Можно указать только коренные древесные породы лесных

формаций и их ориентировочную продуктивность (класс бонитета).

Для определения климатических границ лесных формаций производится распределение типов леса в координатном поле тепла и влаги. В результате получаем графическое изображение, на котором в определенном порядке будут располагаться лесные формации и их классы бонитета. При условии справедливости принципа актуализма такого рода привязка существовала и в прошлом. Поэтому для лесных формаций определенного времени голоцена можно найти современные аналоги.

В таблицу *dBASE* добавляется поле, предназначенное для записи коренных древесных пород лесных формаций и их классов бонитета. Строки этого поля заполняются данными распределения лесных формаций в координатах тепла и влаги. В результате соединения таблицы *dBASE* с атрибутивной таблицей раstra местоположений по ключевому полю ВЭУ получаем карту современного распределения лесов по территории тестового участка. Изменяя значения полей тепла и влаги, получаем соответствующие варианты пространственного распределения лесных формаций. Средние значения величин тепла и влаги периодов голоцена или прогнозируемые в будущем должны задаваться. Построчное изменение записей лесных формаций по мере перехода к другим значениям температуры и влажности местоположений выполняется в автоматическом режиме. Результаты картографирования контролируются с помощью палеоботанических материалов, полученных спорово-пыльцевым и карпологическим методами исследований. Методика предусматривает операцию исключения крутых склонов из местоположений, пригодных для произрастания древесной растительности, вне зависимости от показателей климата.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растровая поверхность рельефа местности. Типологическая структура лесов – конструкция, привязанная к рельефу. На основе данных матрицы SRTM (GisLab..., 2010) в пределах тестового участка созданы растры высот, экспозиций и уклонов. Общая растровая поверхность *Combine* получена посредством их комбинации. В атрибутивную таблицу раstra *Combine* добавлено поле ВЭУ со значениями индексов местоположений (рис. 2, см. на стр. 33).

Пространственное распределение тепла и влаги. Диагностические таблицы типов леса дают необходимое представление о модификациях лесных формаций и содержат информацию о почвенно-грунтовых отличиях, степени увлажнения почв, распределении по абсолютным высотам и формам рельефа. Наиболее удачный вариант типологической структуризации лесов гор Южной Сибири содержится в монографии «Типы лесов гор южной Сибири» (Смагин и др., 1980). Однако и в этой книге далеко не полностью отражено типологическое разнообразие насаждений.

На примере лесов Каахемского лесорастительного округа исследованиями С. К. Фарбера с соавторами (2012) демонстрируются пробелы в лесотипологических характеристиках растительного покрова. По данным В. И. Власенко (2003), в Осевом Западносаянском и Хемчикско-Куртушибинском округах не указаны кустарниковые серии ассоциаций, установлена необоснованность выделения в ВПК перистепненных лиственных и горно-таежных травянистых лиственных лесов и их объединение в подтаежно-лесостепной ВПК.

Диагностическая таблица типов леса Осевого Западносаянского округа соответствует современной лесотаксационной структуре. При ином сочетании тепла и влаги характеристики лесов изменятся. Необходимы дополнительные данные о соответствии характеристик климата растительному покрову. Для получения этих данных к анализу привлечены типы леса смежных лесорастительных округов: Каахемского (подтаежных лиственных и горно-таежных кедрово-лиственных лесов), Усинского (лесостепных лиственных и горно-таежных лиственных и кедровых лесов), Улугхемского котловинно-степного округа (островных сосновых боров) (Смагин и др., 1980). Табличные данные типов леса на основе литературных источников дополнены климатическими характеристиками (Поликарпов и др., 1986; Седельников и др., 2005) и установлена их сопряженность с показателями рельефа местности. Так, в Каахемском округе ельники с пихтой крупнотравно-зеленомошные – Е (II) крт. зм. произрастают в долинах рек на высотах до 900 м (индекс местоположения – 1–11 и 1–21), $\sum t > 10$ °С – 1225 °С, годовое количество осадков – 525 мм (табл. 2, 3).

Растровая поверхность тепла. Уравнения регрессии $ТЕМПЕРАТУРА = f(H)$ рассчитаны по данным табл. 2 и 3, составленных для Осево-

Таблица 2. Показатели тепла и влаги типов леса Каахемского лесорастительного округа (фрагмент)

Тип леса	Температура, $\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$	Осадки, мм/год
Березняк с лиственницей осочково-вейниковый (Б (Л) осч. в.)	1625	575
Ельник с пихтой крупнотравно-зеленомошный (Е (П) крт. зм.)	1275	525
Лиственничник типчаково-разнотравно-осочковый (Л. тип. рт. осч.)	1625	425
Лиственничник ирисово-осочковый (Л. ир. осч.)	1625	575
Лиственничник ирисово-разнотравный (Л. ир. рт.)	1625	525
Лиственничник ирисово-спирейно-крупнотравный (Л. ир. сп. крт.)	1525	475
Осинник хвощево-осочковый (Ос. хв. осч.)	1625	675
Осинник спирейно-крупнотравно-осочковый (Ос. сп. крт. осч.)	1675	757
Березняк спирейно-осочковый (Б. сп. осч.)	1375	525
Лиственничник с пихтой зеленомошно-брусничный (Л (П) зм. бр.)	1150	775
Ельник с лиственницей хвощевый (Е (Л) хв.)	1225	575
Ельник с лиственницей бруснично-сфагновый (Е (Л) бр. сф.)	1225	550
Ельник осочково-сфагновый (Е. ос. сф.)	1225	550
Кедровник с елью зеленомошно-багульниковый (К (Е) зм. баг.)	950	675

Таблица 3. Распределение типов леса Каахемского лесорастительного округа по местоположениям (фрагмент)

Абсолютные высоты, м	Плоское, 0°–3°		Склоны	
	Долины	Водоразделы	северные	южные
801–900	Е (П) крт. зм.	–	Б (Л) осч. в. Е (П) крт. зм.	Б (Л) осч. в.
901–1000	Л. ир. сп. крт.	Л. ир. рт.	Л. тип. рт. осч. Л. ир. осч. Ос. хв. осч. Ос. сп. крт. осч.	Ос. сп. крт. осч.
1001–1100	Л. ир. сп. крт. Е (Л) хв. Е (Л) бр. сф. Е. ос. сф.	Б. сп. осч	Б. сп. осч Л (П) зм. бр. К (Е) зм. баг.	–

Примечание. Полное название типов леса дано в табл. 2.

го Западносаянского, Улугхемского, Усинского и Каахемского лесорастительных округов. Коэффициенты корреляций r значимы (0.713–0.862). Оказалось, что линии связи для отдельных местоположений имеют разнонаправленные наклоны к оси абсцисс, а по величине свободных членов уравнений невозможно оценить изменение $\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$ при переходе к другому местоположению (табл. 4).

Для сравнения рассчитано уравнение связи $\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$ с абсолютными высотами по данным В. П. Седельникова и др. (2005): $ТЕМПЕРАТУРА = -0.6507 H + 2023.2$; $r = -0.897$. Величины $\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$, получаемые по этому уравнению, выше, что является подтверждением ограничения ареала применимости такого рода зависимостей территорией сбора эмпирических данных. Ширина местности и другие значимые факторы

лесорастительных округов влияют на параметры уравнений взаимосвязи температуры и абсолютных высот.

Таким образом, от использования уравнений регрессии $ТЕМПЕРАТУРА = f(H)$ отдельных местоположений для получения модели поверхности температур следует отказаться. Подход требует корректировки. При общей тенденции уменьшения температуры по мере увеличения высоты логически непротиворечивы следующие предположения:

- от линий тальвегов южные склоны будут прогреваться сильнее северных;
- увеличение крутизны южного склона повышает, а северного – понижает температуру;
- изменение температуры в зависимости от высоты местности и величины уклона непрерывно и прямолинейно.

Таблица 4. Уравнения взаимосвязи $\sum t > 10$ °С с абсолютными высотами

Местоположение	ТЕМПЕРАТУРА = $f(H)$	Показатель K_i	ТЕМПЕРАТУРА = $f(H)$ с учетом показателя K_i
Пойма и водораздел	$y = -0.9193x + 2205.8;$ $r = -0.862$	1.00	$y = -0.7004x + 2205.8$
Склоны: северные	$y = -0.6872x + 1963.6;$ $r = -0.713$	0.90	$y = -0.63036x + 1805.22$
южные	$y = -0.6656x + 2010.6;$ $r = -0.763$	1.10	$y = -0.77044x + 2206.38$
Северные склоны: 3°–20°	–	0.95	$y = -0.66538x + 1905.51$
более 20°	–	0.85	$y = -0.59534x + 1704.93$
Южные склоны: 3°–20°	–	1.05	$y = -0.73542x + 2106.09$
более 20°	–	1.15	$y = -0.80546x + 2306.67$

Таблица 5. Ранжированный по влажности ряд типов леса (фрагмент)

Тип леса	Группа влажности	Влажность, %
Кедровник ольховниково-мшистый (К. ольх. мш.)	Сырая	75
Ельник с лиственницей бруснично-сфагновый (Е (Л) бр. сф.)	Сильно влажная	76
Кедровник багульниково-сфагновый (К. баг. сф.)	То же	77

Общее для тестируемых лесорастительных округов уравнение регрессии: $ТЕМПЕРАТУРА = -0.7004H + 2005.8; r = -0.749$. Принимая вышеназванные допущения, можно, отталкиваясь от общего уравнения, определить параметры уравнений местоположений. Уравнение прямой линии: $y = ax + b$. Величины a_i и b_i будут больше или меньше по отношению к a_0 и b_0 общего уравнения пропорционально коэффициентам $K_a = a_i/a_0$ $K_b = b_i/b_0$ (см. табл. 4).

Значения $\sum t > 10$ °С рассчитаны по уравнениям местоположений, скорректированным с учетом показателя K_p , и занимают соответствующее поле таблицы *dBASE*. В результате соединения с атрибутивной таблицей растра *Combine* формируется растровая поверхность температур (рис. 3).

Растровая поверхность влаги. Коэффициенты корреляции r между годовым количеством осадков, мм/год, и абсолютными высотами составили: плоские местоположения – 0.401; северные склоны – 0.256; южные склоны – 0.094. Тенденция увеличения количества осадков с высотой местности выражена недостаточно. Линии уравнений регрессии для отдельных местоположений имеют разнонаправленные наклоны к оси абсцисс. Отсюда следует, что уравнения регрессии $ОСАДКИ = f(H)$ для формирования растровой поверхности влаги не подходят.

Альтернативным годовому количеству осадков показателем является индекс влажности. Типы леса, представляющие Осевой Западносибирский, Улугхемский, Усинский и Каахемский лесорастительные округа, были ранжированы. В ряду местоположения каждого последующего типа леса более влажные в сравнении с предыдущим (табл. 5).

Основанием для экспертного ранжирования типов леса по влажности служили лесорастительные условия, таксационные показатели, доминантные виды травяно-кустарничкового яруса и их отношение к условиям произрастания.

На основе данных сопряженности типов леса с показателями рельефа (см. табл. 3) и высотами местности рассчитаны зависимости влажности местоположений и абсолютных высот: $ВЛАЖНОСТЬ = f(H)$ (табл. 6). Согласно им

Таблица 6. Уравнения связи индекса влажности с абсолютными высотами

Местоположение	ВЛАЖНОСТЬ = $f(H)$
Поймы и водоразделы	$y = 0.0444x - 0.7971; r = 0.561$
Северные склоны: 3°–20°	$y = 0.0401x - 11.792; r = 0.548$
более 20°	$y = 0.0366x - 11.251; r = 0.568$
Южные склоны: 3°–20°	$y = 0.0358x - 15.152; r = 0.726$
более 20°	$y = 0.0288x - 13.854; r = 0.723$

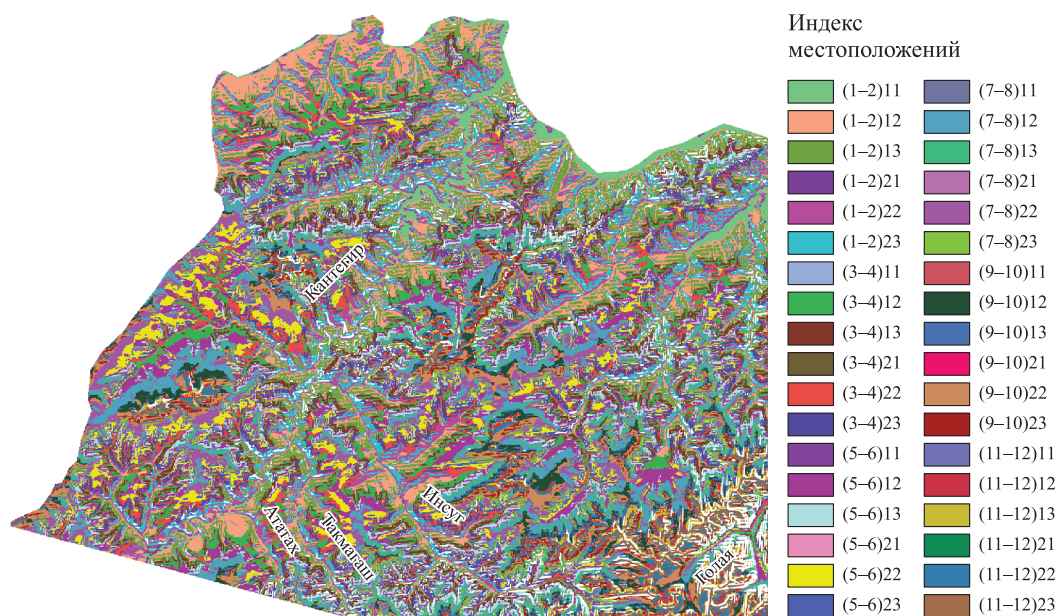


Рис. 2. Растровая поверхность *Combine*, объединяющая группы высот, экспозиций и уклонов тестового участка. Масштаб 1: 350 000.

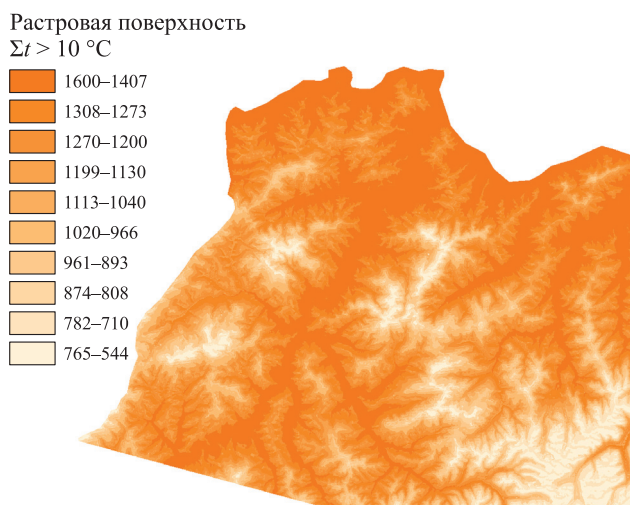


Рис. 3. Растровая поверхность тепла ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) тестового участка. Масштаб 1: 350 000.

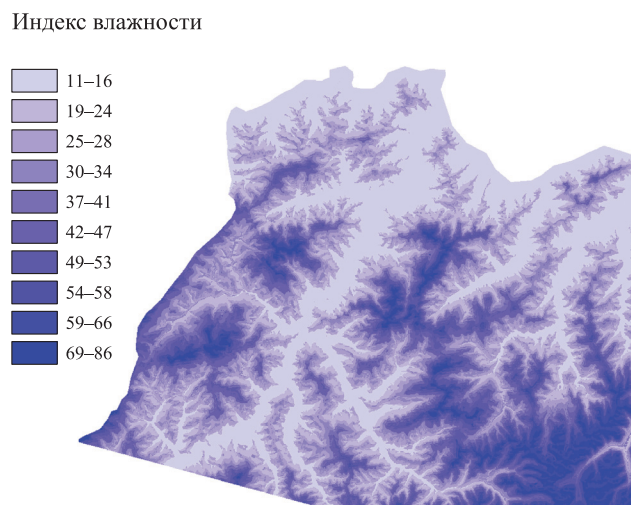


Рис. 4. Растровая поверхность влаги (индекс влажности, %) тестового участка. Масштаб 1: 350 000.

линии уравнений располагаются в закономерном порядке. Наблюдается возрастание влажности по мере увеличения высоты местности. Линии не разнонаправлены, поскольку углы с осью абсцисс различаются незначительно. Коэффициенты корреляции r значимы (0.548–0.726). Отсюда следует, что индекс влажности можно использовать для получения растровой поверхности. Расстояние между линиями различно, что может быть следствием как неточности исходных данных для построения уравнений, так и особенностей распределения по формам рельефа почвенного слоя, который формировался за счет естественноисторических причин. При

любом варианте несовпадение расстояний между линиями не позволяет использовать общее уравнение регрессии. Значения индексов влажности местоположений рассчитаны по уравнениям и занимают соответствующее поле таблицы *dBASE* (см. табл. 6).

В результате соединения с атрибутивной таблицей *Combine* получена растровая поверхность влажности (рис. 4).

Картографирование лесных формаций при различных сочетаниях тепла и влаги. В координатах тепла и влаги принят следующий размер элементарной ячейки: индекс влажности – 4 %, $\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 80 °C (рис. 5).

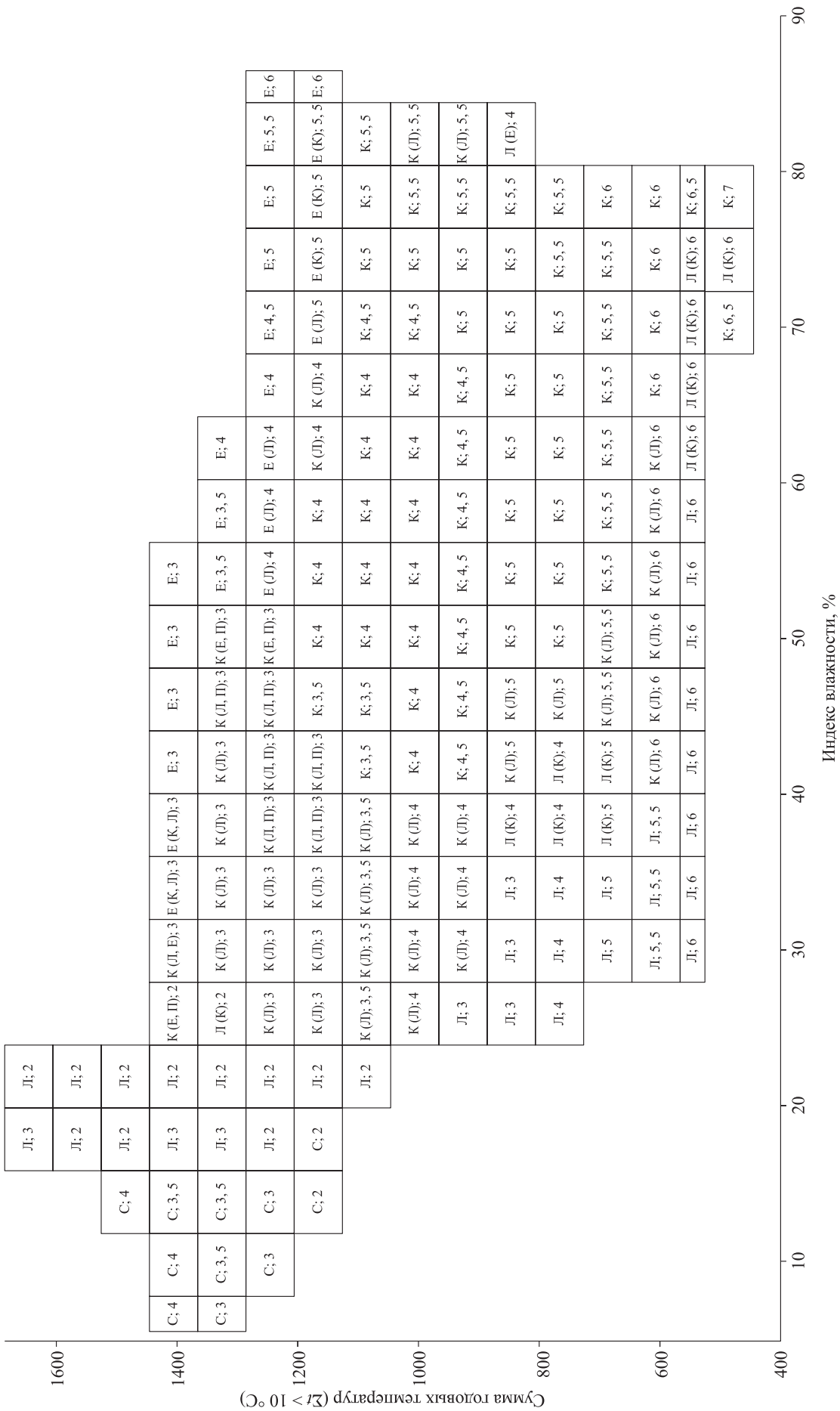


Рис. 5. Распределение лесных формаций по элементарным ячейкам в координатах тепла и влаги. Условные обозначения: С – сосна; Л – лиственница; К – кедр; Е – ель; П – пихта; классы бонитета: 1 – I; 2 – II; 3 – III; 4 – IV; 5 – V; 6 – Va; 7 – Vб. Например: Л; 4 – лиственничные леса IV класса бонитета.

Таблица 7. Значения $\sum t > 10^\circ\text{C}$ и годовое количество осадков $\sum p$, мм/год, периодов позднего голоцена

Период, лет назад	Абсолютная высота, м			
	1400–1500		1500–1600	
	$\sum t > 10^\circ\text{C}$	$\sum p$	$\sum t > 10^\circ\text{C}$	$\sum p$
Современность	700	1550	600	1600
500–2000	900	1500	800	1500
2000–2500	500	1200	250	1300
2500–3000	750	1400	650	1500

Заполнение элементарных ячеек данными произведено посредством интерполяции от фиксированных значений показателей тепла и влаги типов леса, т. е. на основе данных табл. 2, 5 и диагностических таблиц типов леса. В результате коренные древесные породы и их сочетания (лесные формации) распределились по элементарным ячейкам (климатическим нишам). Так, сосняки обособились в границах со значениями температур 1120–1520 °С и влажностью местоположений 6–20 %. По данным элементарных ячеек видно, что производительность сосняков имеет тенденцию к увеличению по мере повышения индекса влажности; наиболее холодные и влажные лесорастительные условия предпочитают кедровые и лиственнично-кедровые древостои Va и Vб классов бонитета; ельники приурочены к выровненным более теплым местоположениям с влажными почвами; лиственничные леса могут произрастать как при максимально больших, так и максимально низких температурах.

В анализируемых лесорастительных округах отсутствуют пихтовые леса. В смеси с другими породами пихта занимает элементарные ячейки с благоприятными для древостоев температурами и индексами влажности. В целом распределение пород деревьев и производительность древостоев зависят как от величин температуры, так и от влажности местоположений, что согласуется с мнением В. Н. Сукачева (1972) о приуроченности типов леса к местоположениям с определенными климатическими показателями.

В течение голоцена показатели тепла и влаги менялись. Каждое новое сочетание $\sum t > 10^\circ\text{C}$ и индекса влажности можно рассчитать по отношению к его современному состоянию, а полученные данные привязать к показателям рельефа. Предпочтения породами деревьев определенных климатических показателей, а также их генетические и физиологические отличия остались неизменными. Отсюда следует, что картографирование лесных формаций мож-

но проводить при различных сочетаниях показателей тепла и влаги. Результаты картографирования показаны на примере периодов позднего голоцена (табл. 7).

Каждый из этих периодов (временных срезов) имеет свои особенности распределения лесных формаций по территории тестового участка, связанные с различием средних значений климатических показателей (Кошкаров и др., 2015; Кошкаров, Кошкарова, 2016; Кошкарова и др., 2016; Кошкарова, Кошкаров, 2016).

Современность. По Д. И. Назимовой (1980), основную часть территории Осевого Западносибирского лесорастительного округа занимает горно-таежный ВПК кедровых лесов III–IV классов бонитета. Выше расположен подгольцово-таежный ВПК кедровых лесов; класс бонитета не более IV с тенденцией быстрого снижения в направлении к верхней границе леса и с переходом в естественные редины. На крутых южных склонах к крупным рекам, таким как Енисей и Кантегир, встречаются небольшие массивы сосновых лесов – фрагменты светлохвойной тайги. Сосняки зачастую расстроены и перемежаются с каменистыми россыпями и кустарниковыми сообществами. Речные поймы заняты ельниками или смешанными насаждениями из кедра, ели и пихты.

Нетрудно заметить, что в целом описание Д. И. Назимовой (1980) соответствует содержанию карты лесных формаций, составленной на основе ЦМР и современных показателей климата. Поймы рек заняли темнохвойные породы, преимущественно ель и кедр, а также лиственница; по склонам к крупным рекам (Енисей, Кантегир) – лиственница, по крутым южным склонам – сосна. В горно-таежном ВПК расположены преимущественно кедровые и кедрово-лиственничные формации; в более благоприятных по лесорастительным условиям местоположениях породный состав древостоев дополняет пихта. Подгольцово-таежный ВПК занят кедровой и лиственничной формациями,

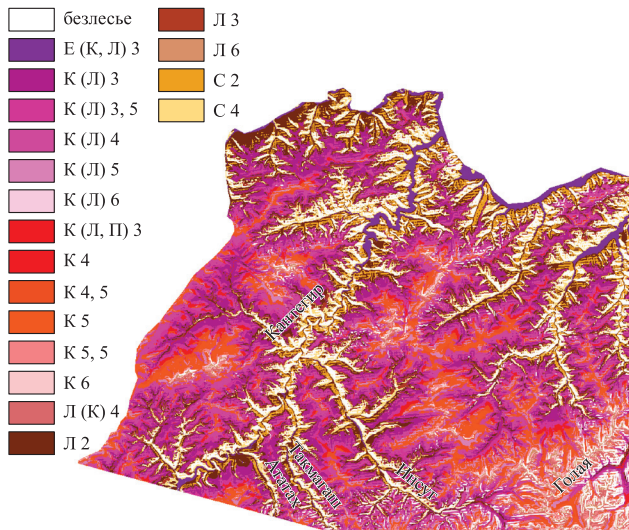


Рис. 6. Распределение лесных формаций по территории тестового участка при современном сочетании показателей тепла и влаги. Масштаб 1 : 350 000.

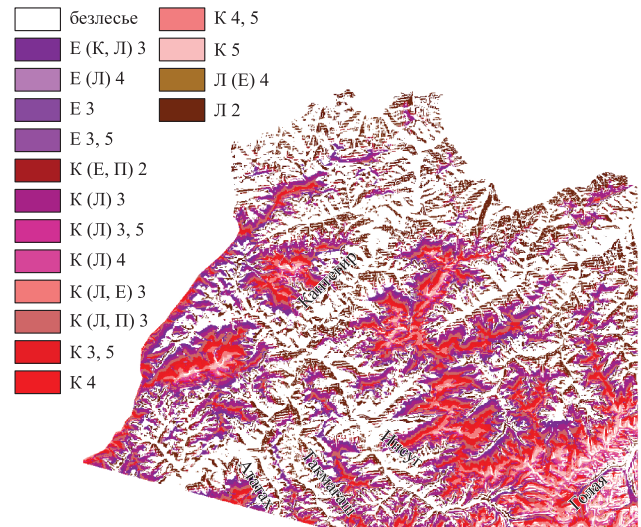


Рис. 7. Распределение лесных формаций по территории тестового участка в период 500–2000 лет назад. Масштаб 1 : 350 000.

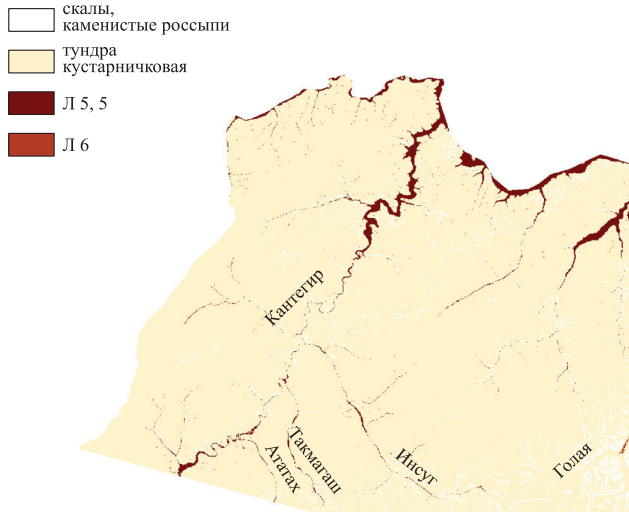


Рис. 8. Распределение лесных формаций по территории тестового участка в период 2000–2500 лет назад. Масштаб 1 : 350 000.

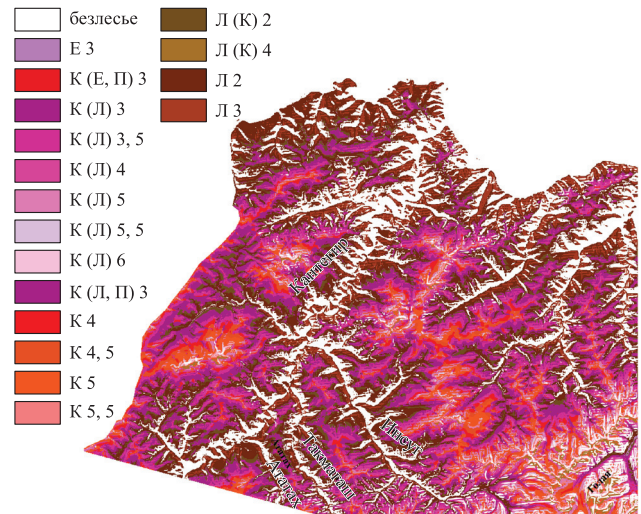


Рис. 9. Распределение лесных формаций по территории тестового участка в период 2500–3000 лет назад. Масштаб 1 : 350 000.

территориально преобладает кедровая. С повышением высот местности производительность древостоев уменьшается (рис. 6).

Время (1900 ± 65) лет назад. Величина $\sum t > 10^\circ\text{C}$ в сравнении с современным значением была выше на 30 %, а годовое количество осадков, мм/год, напротив, ниже на 6 %. Климат был стабильным, значительно теплее и умеренно суше. Согласно данным карпоботанических исследований, начиная с гипсометрического уровня 1600 м и выше, в лесном покрове доминировали кедровые леса. Смешанные пихтово-кедровые леса располагались ниже (Кошкарлова и др., 2015; Кошкарлова и др., 2016). По данным

палинологии в поясе современных высокогорных тундр (1920 ± 45) лет назад преобладали субальпийские кедровники (Савина, 1976).

Результат картографирования этого времени существенно уточняет структуру распределения по поверхности лесных формаций (рис. 7).

Долины рек были безлесные, плоские местоположения занимали луга, склоны – степи. Предположение о наличии на речных террасах тополя или осины подтвердить не представляется возможным. Насаждения располагались выше (вначале на теневых склонах) и были представлены лиственными формациями. По мере увеличения гипсометрического уровня

появляются смешанные елово-кедровые варианты лесных формаций с примесью лиственницы, выше – кедрово-лиственничные формации с примесью пихты и еще выше – кедровые формации, производительность которых не опускалась ниже V класса бонитета.

Время (2200 ± 100) лет назад. Величина $\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$ в сравнении с современным значением была ниже на 55–60 %, годовое количество осадков, мм/год, также ниже на 20 %. Такие величины температур и осадков характеризуют климат как холодный и сухой. По материалам спорово-пыльцевого анализа и карпологии в современном субальпийском поясе доминирующими типами растительности были кедровые редколесья и кустарничковая тундра (Савина, 1976; Кошкаров и др., 2015; Кошкарова и др., 2016).

На карте растительности тестового участка, построенной на основе показателей тепла и влаги того времени, отображается абсолютное господство тундры. Лиственничные леса V–Va классов бонитета располагались в долинах рек (рис. 8).

Получается, что даже для еловых древостоев количества тепла и влаги было недостаточно. Кедровые формации на тестовом участке также отсутствовали. Очевидно, что в местоположениях, расположенных в сравнении с тестовым участком на более низких гипсометрических уровнях, породный состав лесных формаций был иным. Древесные сообщества долин рек формировались из лиственницы и ели, выше располагались кедровые редколесья. Заметим, что в настоящее время похожие климатические показатели и, как следствие, породный состав лесных сообществ наблюдаются в районах северной лесотундры (Коротков, Дзедзюля, 1969).

Время (2640 ± 70) лет назад. Величина $\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$ в сравнении с современным значением была выше на 8 %, а годовое количество осадков, мм/год, ниже на 6 %. Климат относительно современного был умеренно теплее и суше. По материалам карпологии для северо-восточной части Западного Саяна в горно-таежном поясе преобладали елово-пихтовые леса, в субальпийском – кедровые (Кошкаров и др., 2015; Кошкарова и др., 2016). Данные палинологии (Савина, 1976) фиксируют в это время развитие на северном макросклоне Западного Саяна в горно-таежном поясе пихтово-кедровых и пихтовых лесов, а в субальпийском – кедрово-пихтовых. По более поздним палинологическим данным на территории Западного Саяна в период с 3120 по

2680 лет назад распространение кедра было максимальным и равным современному (Бляхарчук, 2011).

Незначительное отличие величин тепла и влаги от современных значений позволяет предположить также сходство растительного покрова. Действительно, карта лесных формаций того периода (рис. 9) визуалью похожа на современную (см. рис. 6).

Есть, однако, и отличия. При более теплом и сухом климате долины рек безлесны, сосновая формация отсутствует, лиственничный пояс расположен выше, производительность древостоев в целом выше, распространение кедровых и кедрово-лиственничных редколесий меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования палеоботаников и лесоводов позволили накопить значительный объем информации о современном и прошлом состоянии лесов. С помощью программных средств ГИС появилась возможность производить более глубокий анализ пространственных данных. Задачи при этом могут быть самые разнообразные. В этом ряду картографирование лесов прошлого классифицируется как задача, имеющая научно-методическое и познавательное значение. Изменение климатических показателей существовало в прошлом и будет происходить в будущем. Синхронно климату меняется и распределение по земной поверхности видов растительного покрова.

Изложенный метод картографирования лесов прошлого опирается на данные ЦМР и информацию о связи лесных формаций с показателями тепла и влаги. Ограничения метода – неизменность рельефа местности и наличие современных аналогов объектов картографирования (лесных формаций). Для периодов, предшествующих голоцену, требуются другие методические подходы и технические решения. Неточности картографирования неизбежны. Источники неточностей – ошибки моделирования связей лесов с показателями рельефа и климата. Причина – в недостаточности, а зачастую и в отсутствии исходных данных, но по мере их уточнения качество картографического продукта будет повышаться.

Картографирование произведено средствами программного модуля Spatial Analyst ArcGIS 9.3.1. Результат – пространственное распределение лесных формаций и их производительность, отвечающие определенному соче-

танию природно-климатических факторов. В целом результаты картографирования достоверны, что подтверждается данными из литературных источников. Карты, составленные по описываемой методике, существенно дополняют представления палеоботаников о лесах прошлого.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-05000-88.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В. Д.* Классификация растительности: обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 275 с.
- Берлянт А. М.* Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 240 с.
- 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.
- Власенко В. И.* Структура и динамика лесной растительности заповедных территорий Алтае-Саянской горной страны. М.: МСОП, 2003. 484 с.
- Елина Г. А.* Принципы и методы реконструкции и картирования растительности голоцена. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1981. 156 с.
- Елина Г. А., Лукашов А. Д., Токарев П. Н.* Картографирование растительности и ландшафтов на временных срезах голоцена таежной зоны восточной Фенноскандии. СПб.: Наука, 2005. 112 с.
- Елина Г. А., Филимонова Л. В.* Палеорастительность позднеледниковья-голоцена восточной Фенноскандии и проблемы картографирования // Актуальные проблемы геоботаники. III Всерос. школа-конф. Лекции. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН, 2007. С. 117–143.
- Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.
- Кац Н. Я., Кац С. В., Кипиани М. Г.* Атлас и определитель плодов и семян, встречающихся в четвертичных отложениях СССР. М.: Наука, 1965. 366 с.
- Коротков И. А., Дзедзюля А. А.* Леса бассейна реки Хантайки // Типы лесов Сибири. Вып. 2. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1969. С. 230–244.
- 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.
- Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л.* Ландшафтная структура заповедника «Столбы» в позднем голоцене // Ботан. исслед. в Сибири. Вып. 21. Красноярск: Поликом, 2013. С. 29–34.
- 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 Междунар. симп. Кызыл, 4–7 июля 2016 г. Кызыл: Изд-во Тувинск. гос. ун-та, 2016. С. 198–202.
- Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л., Буренина Т. А., Мурзакматов Р. Т.* Климатическая обусловленность динамики верхней границы леса в восточной части Западного Саяна (Ойский хребет) в позднем голоцене // Интеграция науки в современном мире: сб. науч. работ VI Междунар. науч. конф. Евразийск. науч. объединения. Москва, июнь 2015 г. Ч. 2. М.: ЕНО, 2015. С. 142–145.
- 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 Междунар. симп. Кызыл, 4–7 июля 2016 г. Кызыл: Изд-во Тувинск. гос. ун-та, 2016. С. 202–208.
- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д.* Региональные особенности изменения ландшафтов и климата севера Средней Сибири в голоцене // Геология и геофизика. 2004. № 6. С. 717–729.
- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д.* Палеоэкология и динамика лесных экосистем в центральной части Эвенкии за последние 2400 лет // Экология. 2005. № 1. С. 3–10.
- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д.* Палеогеографическая и палеоландшафтная реконструкция центральной части Тувы в позднем голоцене по материалам палеокарпологии // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: мат-лы IX Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода. Иркутск, 15–20 сент. 2015 г. Иркутск: Изд-во ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 244–246.

- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д. Экспертная оценка эволюционной динамики биоразнообразия лесных фитоценозов Западного Саяна на их верхнем пределе распространения под воздействием климатических факторов // Изв. Нац. акад. наук Кыргызск. Респ. 2016. № 3. Устойчивое управление горными лесными экосистемами: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения д-ра биол. наук П. А. Гана. Бишкек: Инф.-изд. центр «Илим», 2016. С. 32–37.
- Морозов Г. Ф. Учение о лесе. Избр. тр. М.: Лесн. пром-сть, 1970. Т. 1. 559 с.
- Морозов Г. Ф. Учение о типах насаждения. Избр. тр. М.: Лесн. пром-сть, 1971. Т. 2. 536 с.
- Мурзакматов Р. Т., Кошкарлова В. Л., Фарбер С. К. Ординация типов леса Улугхемского лесорастительного округа Тувы по показателям климата и рельефа // Сиб. лесн. журн. 2014. № 3. С. 107–116.
- Назимова Д. И. Алтае-Саянская горная лесорастительная область // Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 26–148.
- Нейштадт М. И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: АН СССР, 1957. 404 с.
- Нейштадт М. И. Региональные закономерности истории фитоценозов СССР в голоцене по палинологическим данным // История биогеоценозов СССР в голоцене. М.: Наука, 1976. С. 79–91.
- Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири / Отв. ред. В. В. Кузьмичев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 224 с.
- Работнов Т. А. Фитоценология. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1983. 296 с.
- Раменский Л. Г. Избранные работы: проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1971. 334 с.
- Савина Л. Н. Новейшая история лесов Западного Саяна (по данным спорово-пыльцевого анализа почв). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 157 с.
- Седельников В. П., Лапина Е. И., Королюк А. Ю., Валуцкий В. И., Ермаков Н. Б., Ершова Э. А., Макунина Н. И., Мальцева Т. В. Среднемасштабное картирование растительности гор Южной Сибири // Сиб. экол. журн. 2005. № 6. С. 939–953.
- Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И., Новосельцева И. Ф., Чередникова Ю. С. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.
- Сочава В. Б. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 190 с.
- Сукачев В. Н. Избранные труды. В 3 т. / Под ред. Е. М. Лавренко. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Динамика лесных биогеоценозов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1972. С. 387–394.
- Фарбер С. К. Формирование древостоев Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 432 с.
- Фарбер С. К., Кошкарлова В. Л. Использование данных SRTM для дешифрирования лесорастительных условий и типологической структуры лесов // Биоразнообразие Алтае-Саянского экорегиона: изучение и сохранение в системе ООПТ: мат-лы межрегион. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию основания заповедника «Убсунурская котловина». Кызыл, 27 июня–1 июля 2013 г. Кызыл: ОАО «Тываполиграф», 2013. С. 99–102.
- Фарбер С. К., Кузьмик Н. С., Мурзакматов Р. Т., Федотова Е. В. Сопряженность элементов рельефа местности с типами лесов (на примере Каа-Хемского лесорастительного округа) // Экосистемы Центральной Азии: исследования, сохранение, рациональное использование: мат-лы XI Убсунурского Междунар. симп. Кызыл, 3–8 июля 2012 г. Кызыл: РИО Тувинск. гос. ун-та, 2012. С. 425–429.
- Хотинский Н. А. Палеоэкологические реконструкции природной среды голоцена (модель современного межледниковья) // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. М.: Наука, 1982. С. 123–127.
- Шкляев В. А., Шкляева Л. С., Мандыт Д. К.-О. Особенности пространственного и сезонного изменения температуры воздуха в Республике Тыва // Геогр. вестн. 2010. № 1(12). С. 68–77.
- Юрковская Т. К. Геоботаническое картографирование и составление аналитических карт растительности // Актуальные проблемы геоботаники. III Всерос. школа-конф. Лекции. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН, 2007. С. 43–71.
- GisLab.Info.Data.SRTM, 2010.
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Paleoecology and dynamics of forest ecosystems in Central Evenkia during the past 2400 years // Rus. J. Ecol. 2005. V. 36. Iss. 1. P. 1–7.
- Zernitskaja V. P. Stages of the main forest species in Belarus in the late glacial time and Holocene // Climate and environment changes of East Europe during Holocene and late-middle Pleistocene. M., 1995. P. 28–37.

MAPPING THE HOLOCENE FOREST FORMATIONS WITH THE USE OF KEY CLIMATE INDICATORS – HEAT AND MOISTURE

S. K. Farber, V. L. Koshkarova, N. S. Kuzmik

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

E-mail: sfarber@ksc.krasn.ru, avkashkara@akadem.ru, natalia_5791@mail.ru

The article deals with the methodology of mapping the Holocene forest formations on the basis of the DEM and the key indicators of the climate – heat and moisture. The work is carried out by means of GIS. The test site is located within the boundaries of the axial West Sayan district of mountain taiga forests, which ensures homogeneity of natural and climatic conditions. Stages of the method: creation of rasters on groups of absolute heights, exposures and inclinations with their subsequent combination into a single *Combine* raster; obtaining the regularities of spatial distribution of heat and moisture and their representation in the form of rasters (digital models); and interactive mapping of the Holocene forests with various combinations of heat and moisture. The use of *Combine* raster makes it possible to refuse to use any other contours as – landscape, geomorphological, forest inventory. To determine parameters of climatic boundaries of forest formations, the types of forests are linked to the heat and moisture indicators. As a result of linking, a graphic image is produced, where forest formations and their productivity are located in a certain order. The mapping technique involves creating a *dBASE* table with a field containing information about forest formations. The row-wise change in the records of forest formations as they move to other values of heat and moisture is performed interactively. Each next combination of heat and moisture on maps corresponds to a certain distribution of forest formations and site productivity (bonitet) classes. (1900 ± 65) years ago the river valleys were treeless, flat meadows occupied meadows, and the slopes were steppes. As the hypsometric level increases, larch stands, spruce-Siberian stone pine with an admixture of larch, Siberian stone pine-larch with an admixture of fir, and the Siberian stone pine formations appear. (2200 ± 100) years ago the tundra prevailed. Larch forests of V–V⁸ classes of bonitet were located in river valleys. (2640 ± 70) years ago, landscapes were similar to modern ones. The differences (today) – the river valleys are treeless, there are no pine forests, the larch belt is higher, the productivity of tree stands is generally higher, distribution of the Siberian stone pine and the Siberian stone pine-larch woodlands is less.

Keywords: *Holocene periods, forest types, relief, climate, patterns of heat and moisture distribution, mapping of forest formations.*

How to cite: *Farber S. K., Koshkarova V. L., Kuzmik N. S. Mapping the Holocene forest formations with the use of key climate indicators – heat and moisture // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 6: 26–40 (in Russian with English abstract).*