

Е. Г. СУВОРОВ, А. Д. КИТОВ

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск, 664033, Россия,
suv@irigs.irk.ru, kitov@irigs.irk.ru

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ МАССИВА МУНКУ-САРДЫК (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Представлены результаты исследования перигляциальной зоны массива Мунку-Сардык в Восточном Саяне. Цикличность природных процессов, проявляющаяся в приросте деревьев, произрастающих в экстремальных условиях, анализируется по данным дендрохронометрии. При этом выявлены вековые и внутривековые циклы. Отмечается корреляция прироста лиственницы и кедра с изменениями летних температур (коэффициенты 0,56 и 0,48 соответственно). За период наблюдения за ледником Перетолчина (1900–2015 гг.) выявлены этапы его отступления (1900–1965 и 1983–2000 гг.) и наступания (1965–1983 гг.), которые отражались на изменении прироста деревьев и степени накопления донных осадков в прогляциальном оз. Эхой. При сравнении характера роста «ископаемого» дерева в оптимуме голоцена и современных деревьев-долгожителей отмечается большая чувствительность древнего дерева (коэффициент 0,43) и меньшая современных (0,32 для лиственницы и 0,26 для кедра). Данные термохронометрии позволили выявить уменьшение градиента температуры воздуха с высотой в июле (оптимальном месяце прироста деревьев) до 0,468 °C/100 м.

Ключевые слова: геосистемы, дендрохронологический анализ, корреляция, циклы, ледник, изменение климата.

E. G. SUVOROV, A. D. KITOV

Sochava Institute of Geography SB RAS, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russia,
suv@irigs.irk.ru, kitov@irigs.irk.ru

VARIABILITY IN NATURAL CONDITIONS OF THE PERIGLACIAL ZONE OF THE MUNKU-SARDYK MASSIF (EASTERN SAYAN)

Presented are the results from investigating the periglacial zone of the Munku-Sardyk massif in Eastern Sayan. Dendrochronometry data are used in analyzing the cyclicity of natural processes that manifests itself in increment in trees growing in extreme conditions. The analysis revealed secular and intrasecular cycles. A correlation of increments in larch and Siberian stone pine with changes in summer temperatures (the correlation coefficients 0.56 and 0.48, respectively) is observed. For the period of observation of the Peretolchin glacier (1900–2015), the stages of its retreat (1900–1965 and 1983–2000) and advance (1965–1983) were revealed, which influenced the changes in increment in trees and the degree of accumulation of bottom sediments in the proglacial Lake Ekhoi. A comparison of the character of growth of a “fossil” tree in the Holocene optimum with present-day long-lived trees shows a higher sensitivity of the ancient tree (the coefficient 0.43) and a lower sensitivity in present-day trees (0.32 for larch, and 0.26 for Siberian stone pine). Thermochronometry data were used to determine a decrease in air temperature with height in June (an optimal month for increments in trees) to 0,468 °C/100 m.

Keywords: geosystems, dendrochronological analysis, correlation, cycles, glacier, climate change.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Массив Мунку-Сардык в юго-восточной части Восточного Саяна (наивысшая точка 3491 м над ур. моря) является характерным примером современного оледенения на юге Восточной Сибири [1–4]. Как известно, площади оледенения и локальное расположение ледников подвержены изменениям, отражающим тенденции глобальных климатических условий, которые проявляются также в процессах функционирования геосистем окружения современных ледников [5, 6]. Динамика природной среды территорий, включающих современное оледенение и геосистемы его окружения со следами воздействия гляциальных систем прошлого, характеризует условия перигляциальной зоны горных районов. Выявление хронологии таких физико-географических структур в целом, определение специфики их динамики имеет особое значение для анализа сложившихся территориальных взаимосвязей.

Различные типы геосистем перигляциальной зоны отражают в свойствах своих компонентов изменения природных условий и коррелируют с динамикой оледенения.

Основным фактором, определяющим состояние геосистем массива Мунку-Сардык, кроме катастрофически проявляющихся эндогенных процессов является климат. Его комплексное влияние фиксируется в динамике свойств как абиотических, так и биотических компонентов геосистем.

В работе использованы материалы полевых исследований природных условий перигляциальной зоны массива Мунку-Сардык, рассмотрены корреляции, цикличность и тренды их изменчивости.

Индикаторами изменчивости являются собственно площадные характеристики ледников, включая показатели динамики их таяния. Кроме климатических данных, одним из ведущих индикаторов выступает прирост древесных растений в экстремальных условиях на границе леса.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перигляциальная зона массива Мунку-Сардык представляет собой современное горное оледенение на высоте 2800–3485 м над ур. моря (оцениваемая площадь 0,7 км²) и окружающие геосистемы различных высотных зон: нивально-гляциальные, альпинотипные и субальпинотипные, гольцовые горно-тундровые, подгольцовые кустарниковые и лиственнично-редкостойные верхней части горно-таежного пояса условий редуцированного развития, горно-таежные. Проявления высотной зональности геосистем осложняются рельефом, экспозицией склонов, экзогенными процессами [6–10].

Местный климат, как ведущий фактор динамики природных условий территории, определяется географическим макроположением в южной половине умеренного климатического пояса и во внутренней части материка, а также особенностями контрастного горного рельефа [11, 12] (рис. 1). Для

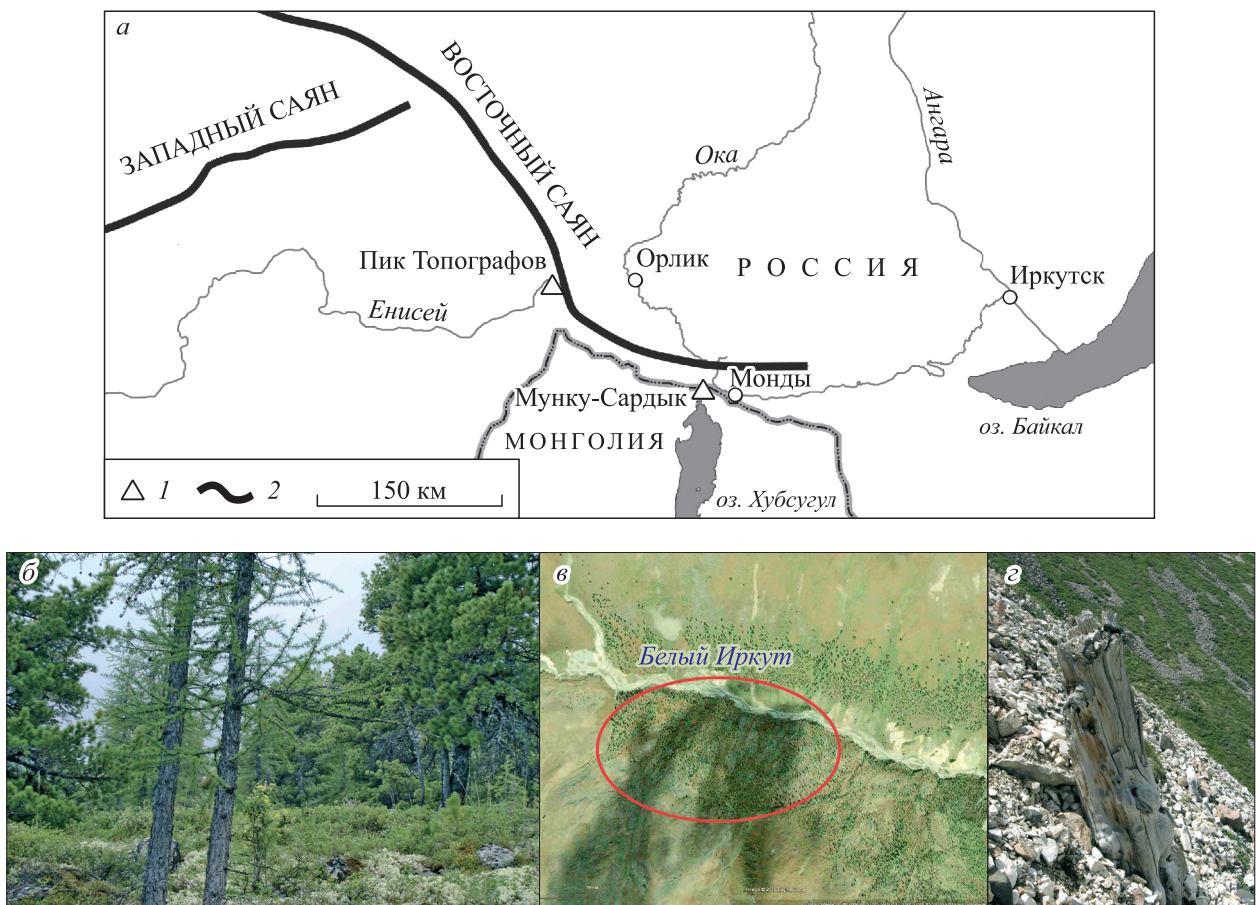


Рис. 1. Характеристика ключевого участка.

a — схема расположения; *б* — биогеоценоз пробной площади у границы леса; *в* — вид участка на космоснимке Quick Bird (выделен овалом); *г* — пень древнего «ископаемого» дерева на склоне исторической морены. 1 — вершины; 2 — горные хребты.

района исследования характерен восточносибирский тип климата с резко континентальными условиями, повышенной аридностью, продолжительной и суровой малоснежной зимой, значительной разницей зимних и летних температур, большими амплитудами абсолютных максимумов и минимумов (до 80–90 °С). Фоновая климатическая характеристика территории определялась прежде всего по данным метеостанции Монды (1304 м над ур. моря) [13, 14].

Для оценки местных вариаций климатических условий перигляциальной зоны использовались термохроны, расположенные у подножия ледника, в субальпийской зоне в условиях горно-каменистого луга, на границе леса в верхней части горно-таежного пояса в условиях редуцированного развития и в горно-таежном поясе в диапазоне высот 1840–2880 м над ур. моря [10].

В районе исследования наблюдается следующий температурный режим: среднегодовая температура за 100 лет –1,9 °С; средняя температура самых холодных месяцев –19,9 °С (январь) и –17,3 °С (февраль), минимальная средняя –27,1 и –24 °С соответственно; средняя температура самого теплого месяца 14,3 °С (июль), максимальная средняя 16,8 °С; средние летние температуры 12,9 °С, зимние –16,5 °С. Переход температур через ноль в конце апреля.

Сумма осадков в среднем 350 мм, но их распределение неравномерно. Максимум осадков приходится на теплое время года, когда выпадает до 70 % годовых значений, в то время как зимой — лишь 2–3 %. Количество осадков с высотой возрастает. Мощность снежного покрова — 6–20 см.

В перигляциальной зоне в условиях сурового климата распространены мерзлотные формы рельефа. На высоте 1500–2000 м над ур. моря продолжительность безморозного периода не превышает 20–30 дней, а заморозки и снегопады возможны в любой месяц. Температурный режим, который определяет показатели и динамику природных режимов геосистем, зависит от гипсометрического уровня местности: летом на каждые 100 м высоты температура понижается на 0,4–0,7 °С, при этом свое влияние оказывают и особенности локального рельефа, в частности разная экспозиция склонов.

Вегетационный период начинается в первых числах июня, а в августе в верхней части зоны уже отмечается наступление осени. Средняя температура июля в пос. Монды (1304 м над ур. моря) — 14,3 °С (от 11,9 до 16,8 °С).

Данные по термическим режимам были дополнены полевой термохронометрией (рис. 2). Термохроны расположены в пределах одного бассейна, в верховьях р. Мугувек, притока р. Белый Иркут, на четырех высотных уровнях от окончания ледника Перетолчина. Первоначально термохроны устанавливались в грунте на глубине 30 см у ледника (нивальная зона) и прогляциального оз. Эхой (субальпийской зоне), но их показания оказались недостаточно репрезентативными для сравнения с температурными данными метеостанции и информацией о процессах на леднике. В настоящее время первый термохрон размещен у ледника Перетолчина (2880 м) на высоте 50 см от выхода коренных пород с отсутствием растительности (нивальная-гляциальная геосистема [10]), рядом с минимальным термометром, установленным П. С. Перетолчиным. Второй — на высоте 2640 м над ур. моря, у оз. Эхой, также на высоте 50 см над поверхностью моренных отложений с редуцированным низкотравно-субальпийским травянистым покровом (альпийской и субальпийской геосистемы [10]). Третий — на границе леса (2130 м), на высоте 1,5 м от поверхности почвы в условиях склоновой горно-таежной геосистемы [10] с листовничным кустарничково-моховым редколесьем. И четвертый — на стрелке рек Мугувек и Белый Иркут, на высоте 1,5 м (1840 м) в верхней части горно-таежного пояса [10], также с листовничным кустарничково-моховым редколесьем.

Группировка термохрон (iBooton) постепенно наращивалась (см. рис. 2, б, в), однако они периодически выходили из строя. Наиболее полная информация собрана в 2014 г., но поскольку тогда отказал термохрон у ледника, дополнительно были использованы данные за 2015 г.

Показания термохрон хорошо коррелируют с данными метеостанции пос. Монды (0,97–0,99). На всех высотных уровнях наиболее теплым является июль.

Согласно полученным результатам (см. рис. 2), на высоте 2880 м в последние семь лет средняя температура июля — 6,9 °С, 2640 м — 6,4 °С, 2130 м — 12 °С (за три года), 1840 м — 13,4 °С (за три года). При перепаде высот 1580 м в июле наблюдалось изменение температуры на 7,4 °С, что соответствует понижению температуры с высотой в среднем на 0,468 °С/100 м. Однако полученный ряд наблюдений, характеризующий климатические условия долины северного простирания, еще недостаточно продолжителен для окончательных выводов.

Тестовая площадь для отбора образцов древесно-кольцевых серий на дендрохронологический анализ находится в условиях горно-таежной геосистемы ограниченного развития на высоте 2110 м над ур. моря на границе леса, на склоне северной экспозиции крутизной 7–10°, в правобережье верховий р. Белый Иркут, в 50 м от русла. Долина Белого Иркута здесь имеет характерный троговый вид,

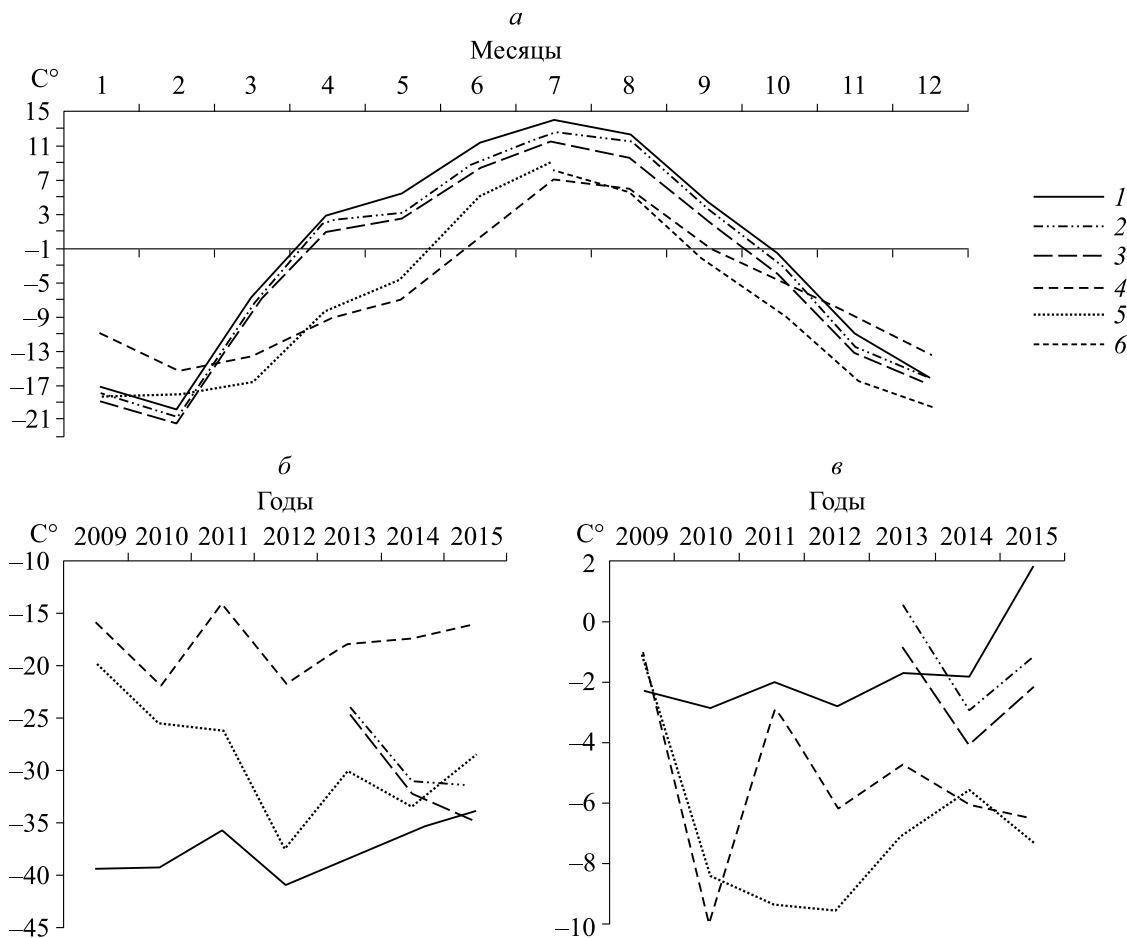


Рис. 2. Показания термохронов на разных высотных уровнях.

a — годовой ход среднемесячной температуры; *б* — минимальные температуры; *в* — среднегодовые температуры. 1 — метеостанция Монды; 2 — стрелка рек Мугувек и Белый Иркут; 3 — граница леса; 4 — субальпийно-типа зона, горный луг у оз. Эхой; 5, 6 — подножие ледника Перетолчина: 5 — I–VII месяцы 2015 г., 6 — VII–XII месяцы 2014 г.

и эта часть склона представляет собой относительно выровненную моренную террасу. В сторону основной долины ее пересекают неглубоко врезанные (около 1 м) эрозионные формы в виде промоин, участки склона между которыми имеют выровненный характер. На них представлен однородный биогеоценоз с редколесным лиственничным сообществом с участием кедра (9Л1К, расстояние между деревьями 8–10 м, распространены равномерно, средняя высота основного полога деревьев 10–12 м). Напочвенный покров — кустарниковый мохово-лишайниковый с общим покрытием 100 %. Морфологически фиксируются длительно сезонно-мерзлые дерновые перегнойно-глеевые слабоподзоленные суглинистые маломощные почвы на моренных отложениях (комплексное описание и отбор образцов произведены 21 июля 2015 г.).

Граница леса проходит вдоль склона по краю неглубокой ложбины в диапазоне высот 2110–2155 м над ур. моря перпендикулярно долине. Лесные сообщества по троговой долине верховий Белого Иркута внедряются в безлесную часть горного массива. При этом граница распространения древесной растительности в виде единичных лиственниц угнетенной формы далее по макросклону фиксировалась на высоте 2206 м.

Образцы древесины взяты в июле 2012 г. с помощью бура Пресслера на высоте 1,3 м. Измерение колец производилось с использованием ГИС-программы ArcView GIS-3.2a (с последующим анализом в MS Excel) после получения сканированного изображения подготовленного образца с разрешением 2400 dpi посредством настольного сканера HP ScanJet 5300C. Сравнение нашей методики с контрольным измерением на полуавтоматическом измерительном столе Lintab-6 (Германия) дало сопоставимые

результаты дешифрирования и измерения годовых колец, что позволяет формировать базу дендрохронологических данных, включающую сканы кернов.

При этом в примененной методике подготовки образца для анализа использовалось несколько сканов керна, благодаря чему годовые кольца рассматривались в сравнении в разных его ракурсах одновременно (работа ведется с изображениями керна, а не с самим образцом) и не требовалось переустановки керна при анализе под микроскопом (образец меньше разрушается). Векторизация ширины колец производилась с возможностью уточнения при дешифрировании и контрастировании изображения керна и с применением автоматизированных методов обработки изображения. Данные векторизации экспортировались в таблицу MS Excel, удобную для дальнейшего анализа статистическими методами (инструменты Data Analysis).

Дендрохронологические характеристики деревьев, произрастающих в экстремальных условиях на границе леса, являются надежным индикаторным признаком для оценки условий динамики геосистем. При проведении дендрохронологического анализа использовалась методика С. Г. Шиятова [15], разработанная для экстремальных условий Приполярного Урала.

Полученные дендрограммы абсолютных показателей моделей нормировались относительно кривых максимального и минимального прироста. Индекс прироста рассчитывался согласно формуле [15]

$$I = (L - L_{\min}) / (L_{\max} - L_{\min}) \cdot 100,$$

где I — нормализованный индекс прироста в процентах, L — фактическая ширина годичного кольца, L_{\min} — расстояние между осью абсцисс и минимальной кривой, L_{\max} — расстояние между осью абсцисс и максимальной кривой.

Для получения осредненных дендрограмм по нормированному индексу использовано 10 лиственниц (*Larix sibirica*) и 6 кедров (*Pinus sibirica*), все деревья были в жизнеспособном состоянии. Рассчитывались коэффициенты чувствительности, синхронности и корреляции. Выделялись вековые и внутривековые циклы с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее продолжительный временной ряд дендрохронологических индексов выявлен у кедра — с 1639 г. (рис. 3). У всей группы кедров древесно-кольцевая серия начинается с 1720 г., что позволяет рассматривать осредненную кривую индекса прироста по шести образцам на протяжении 291 года (см. рис. 3, з). У лиственниц один образец фиксирует прирост с 1771 г. (продолжительность ряда 242 года, см. рис. 3, д), но в целом вся группа образцов показывает прирост лишь с 1948 г., что позволяет рассматривать ряд из 10 образцов с 1948 по 2011 г. (см. рис. 3, а).

Ход изменения осредненного индекса прироста по 10 образцам лиственницы и 6 образцам кедра одного биогеоценоза в условиях геосистемы верхнего пояса редуцированного развития на границе леса достаточно хорошо коррелирует (0,77) в пределах 95%-го уровня значимости.

Коэффициент синхронности (Kc), показывающий степень воздействия общих факторов в отношении двух рассматриваемых временных рядов, между приростом лиственницы и кедра средний (69,8 %):

$$Kc = 100 n^+ / (n - 1),$$

где n^+ — количество совпавших по направлению прироста годичных отрезков кривой индексов прироста, n — длительность сравниваемого интервала времени (лет). При $Kc < 56$ % — синхронность отсутствует, 57–67 — низкая, 68–78 — средняя, 79–89 — высокая, >90 % — очень высокая [15].

Коэффициент чувствительности (Kr) отражает степень относительных различий в ширине соседних годичных колец:

$$Kr = \left(\sum |2(L_{t+1} - L_t) / (L_{t+1} + L_t)| \right) / (n - 1),$$

где суммирование производится от $t = 1$ до $t = n - 1$, n — длительность ряда (лет), L_t — ширина годичного кольца, или индекс прироста за год t . $Kr = 0$, когда нет различий в индексе соседних колец, при $Kr > 0,3$ серия колец считается чувствительной. Коэффициент чувствительности показывает степень воздействия внешних факторов на изменение величины прироста и в основном выражает значимое влияние климатических условий [15]. Kr лиственницы — 0,32, Kr кедра — 0,26. В нашем случае кедр менее чувствителен, чем лиственница, а значения коэффициента находятся у границы чувствительности ($Kr = 0,3$). Интересно, что «ископаемая» лиственница проявляла зависимость от внешних факторов значительно сильнее ($Kr = 0,43$).

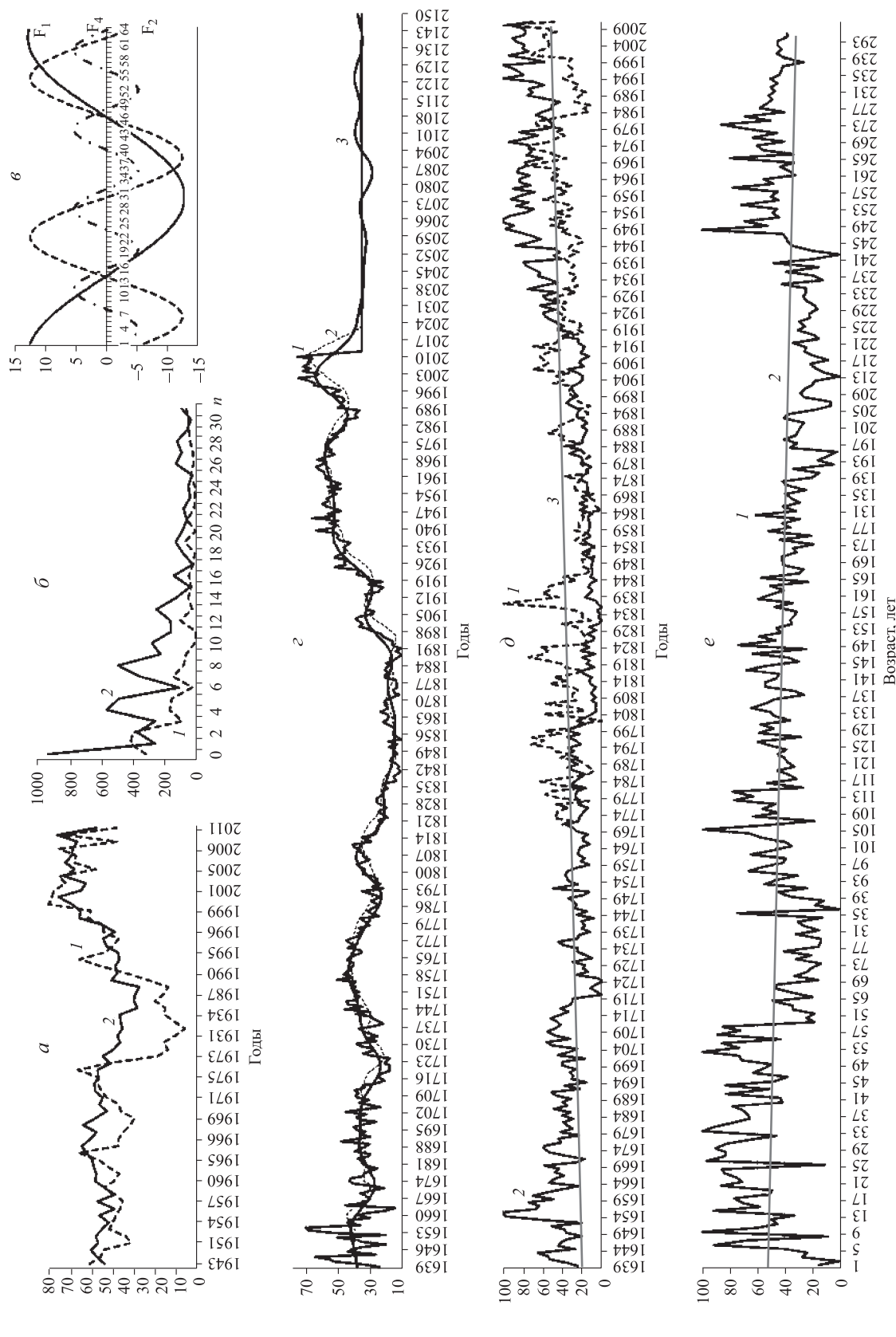


Рис. 3. Ряды индексов прироста (%) деревьев и результаты их анализа.

a — осредненные индексы прироста лиственницы (1) и кедра (2); *b* — распределение первых 32 гармоник *n* (см. табл. 1) для лиственницы (1) и кедра (2) (для лучшего восприятия 0-я гармоника для лиственницы и 0-я и 1-я гармоники для кедра уменьшены в 10 раз); *в* — пример 1-й (F₁), 2-й (F₂) и 4-й (F₄) гармоник в ряд Фурье для лиственницы; *г* — осредненный индекс прироста кедра (1), тренд по 11-летним скользящим гармоникам (2) и восстановленная прогнозная кривая обратным преобразованием Фурье по 11 максимальным гармоникам (3); *д* — индексы прироста современных деревьев-долгожителей — лиственницы (1) и кедра (2), линейный тренд прироста (3); *е* — индексы прироста древнего дерева (1) и линейный тренд прироста (2).

Следует отметить, что кедр реагирует на изменения условий роста с запаздыванием в 5–6 лет по сравнению с лиственницей, при этом разброс значений прироста по диаметру лиственницы выше, чем у кедра, что может говорить о ее большей лабильности (стандартное отклонение для лиственницы — 15,5, а для кедра — 9,1).

Коэффициент корреляции между приростом лиственницы и суммой летних температур (за последние 64 года по данным метеостанции Монды) также высок: для лиственницы — 0,56, для кедра — 0,48.

Значимой корреляции между среднемесячной температурой и индексом прироста до начала вегетации не наблюдалось, наиболее коррелируемые месяцы активного роста — июль, август, с постепенным снижением зависимости прироста к концу вегетативного периода.

Цикличность развития — один из основных законов природы. Природные циклы разной глубины и продолжительности, выражающиеся в изменении климата, оставляют следы в компонентах окружающей среды [3]. С учетом продолжительности временных рядов осредненных индексов прироста по породам деревьев были рассчитаны циклы флуктуаций: для лиственницы — 64 года, для кедра — 256 лет (для корректной работы БПФ необходима длина ряда, кратная 2ⁿ), — при этом год взятия образцов (2012) не учитывался (см. рис. 3, б).

Согласно проведенному статистическому анализу, гармоники энергетического спектра попадают в доверительную область 95 %; в своей совокупности они представляют ход прироста древесных моделей.

Синхронно выделяющиеся гармоники лиственницы, имеющей более короткий ряд (2, 4–5, 7, 12, 19), соответствующие периодам 32, 16–12,8, 9,1, 3,4 года, повторяются в гармониках кедра с периодами 8, 16, 28, 32. При этом в начальных гармониках кедра выделяются и более крупные циклы — в 128 лет и 64–51,2 года (см. рис. 3, б; таблицу).

Спектральные характеристики древесно-кольцевых серий прироста лиственницы и кедра

Номер гармоники (F)	Амплитуда спектра лиственницы, усл. ед.	Амплитуда спектра кедра, усл. ед.	Длительность циклов лиственницы, лет	Длительность циклов кедра, лет
1	411,2	2598	64	256
2	398,8	370,1	32	128
3	93,4	262	21,3	85,3
4	169,8	559,4	16	64
5	155,8	484,9	12,8	51,2
6	30,5	111,5	10,7	42,7
7	150,2	354	9,1	36,6
8	82,7	490,1	8	32
9	68,3	229,4	7,1	28,4
10	12,2	282,6	6,4	25,6
11	4,3	160,5	5,8	23,3
12	106,2	165,1	5,3	21,3
13	29	252,3	4,9	19,7
14	55	131	4,6	18,3
15	38,9	44,5	4,3	17,1
16	50,7	146,2	4	16
17	25,6	25,7	3,8	15,1
18	12,8	88,7	3,6	14,2
19	74,4	132	3,4	13,5
20	11,3	90,6	3,2	12,8
21	62,7	61,9	3	12,2
22	16,8	83,3	2,9	11,6
23	13,2	43,6	2,8	11,1
24	13	53,8	2,7	10,7
25	40,2	29,9	2,6	10,2
26	22,3	132,9	2,5	9,8
27	27,2	94,4	2,4	9,5
28	42,6	125,8	2,3	9,1
29	49,4	65,2	2,2	8,8
30	54,1	39,7	2,1	8,5
31	65,5	96,4	2,1	8,3

Прогнозная кривая, восстановленная с помощью обратного преобразования Фурье по 11 максимальным гармоникам кедра, позволяет выявить тренд изменения прироста (см. рис. 3, з). Колебания прироста, которые, как показывают данные, коррелируют с температурами короткого вегетационного периода, были присущи и прошлым эпохам, в частности оптимуму голоцена (около 7,3 тыс. л. н.).

В связи с этим интересно рассмотреть варьирование прироста останков древней лиственницы, обнаруженной в этом районе, выше границы леса на 366 м, на удалении от ближайшего лесного участка на 2,3 км. Отмершая лиственница в виде пня высотой 1,5 и 1 м в диаметре находилась на высоте 2266 м на склоне исторической морены, в верховьях долины р. Буговек, выше границы леса (в этой долине граница леса проходит на высоте 1900 м над ур. моря). В 10–20 м от нее — остатки двух более разрушенных пней (см. рис. 1).

Радиоуглеродным методом в лаборатории палеогеографии и геохронологии четвертичного периода Санкт-Петербургского государственного университета была проведена датировка древесины (ЛУ 6167) с оценкой радиоуглеродного возраста в 6280 ± 70 лет, календарного — в 7180 ± 100 лет. Возраст полученного спила оценен в 295 лет.

Для сравнения на графиках (см. рис. 3, д, е) представлены индексы прироста современных деревьев — наиболее старой лиственницы с длиной ряда 242 года и кедра с длиной ряда 375 лет. Как и для современных деревьев, для «ископаемых» характерны циклические колебания прироста. Интересно, что автоматически аппроксимированный тренд прироста у древней лиственницы был нисходящий, а у современного (примерно такого же возраста) кедра — восходящий, что может быть связано с постепенным ухудшением условий роста в прошлом и постепенным улучшением в современный период. Следует отметить, что средний абсолютный прирост по радиусу «ископаемой» лиственницы был в два раза больше, чем у современной примерно такого же возраста, — 0,9 и 0,4 мм соответственно, что также объясняется более благоприятными условиями произрастания. Считается, что в период оптимума голоцена температура была на 3,5 °С выше, чем в настоящее время [16].

По результатам анализа древесно-кольцевых серий, снижение индекса прироста у кедра наблюдается с 1950 по 1985 г., у лиственницы — с 1975 по 1983 г. (см. рис. 3, а, з). Данные о динамике ледника Перетолчина и интенсивности поставки талыми водами кластогенного материала в донные осадки прогляциального оз. Эхой (с 1985 по 2013 г.) говорят о замедлении накопления осадков и наступлении ледника [17, 18] (рис. 4).

Спектральный анализ дендрограммы осредненного индекса прироста кедра с продлением средних значений до 2150 г. позволяет выделить более длительные циклы (до 500 лет), а восстановление данных из этого ряда по 11 максимальным гармоникам позволяет спрогнозировать возможное уменьшение прироста деревьев (минимальный уровень прироста в середине 2080-х гг.), что подтверждает наметившуюся тенденцию к похолоданию и замедлению деградации ледников массива Мунку-Сардык (см. рис. 3, з).

При повышении температуры и увеличении количества осадков в районе массива Мунку-Сардык отмечалось медленное отступление ледника с 1900 по 1963 г. Выделены две серии пиков скорости осадконакопления в озере. Однако в 1930–1945 гг. наблюдения не проводились, и, возможно, ледник незначительно наступал. Индексы прироста деревьев в начале этого периода уменьшаются (у лиственницы существенно), а затем повышаются (у кедра существенно), причем минимумы прироста у лиственницы коррелируют с максимумами скорости осадконакопления. Это свидетельствует о неоднородности тенденции к отступанию ледника на протяжении 60 лет.

В период наступления ледника и известного похолодания с 1963 по 1983 г. также отмечалось два пика скорости осадконакопления. В это время индексы прироста деревьев становятся ниже (у лиственницы заметнее). В последний период отступления ледника (с 1983 по 2000 г.) летняя температура при почти неизменном количестве осадков повысилась, но скорость осадконакопления уменьшилась.

С начала 2000-х гг. наблюдается понижение летних температур. Прирост деревьев переходит в менее устойчивую фазу. Повышается осадконакопление кварца, но нет резких подъемов скорости осадконакопления и существенного увеличения содержания общего органического вещества (ООВ) и биогенного кремнезема (BSi), хотя тенденция к его росту просматривается.

В целом заметна схожесть кривых индекса прироста лиственницы и BSi, а кривая индекса прироста кедра с некоторым запаздыванием повторяет кривую ООВ. Заметна связь между накоплением кварца и индексом прироста кедра.

Согласно [17], деградация ледника отмечалась после 1920 г., однако до 1947 г. отступление его нижней границы было незначительным (см. рис. 4), а с 1947 по 1965 г. — интенсивным. Наиболее быстро ледник деградировал с 1953 по 1965 г. Устойчиво высокие региональные летние температуры

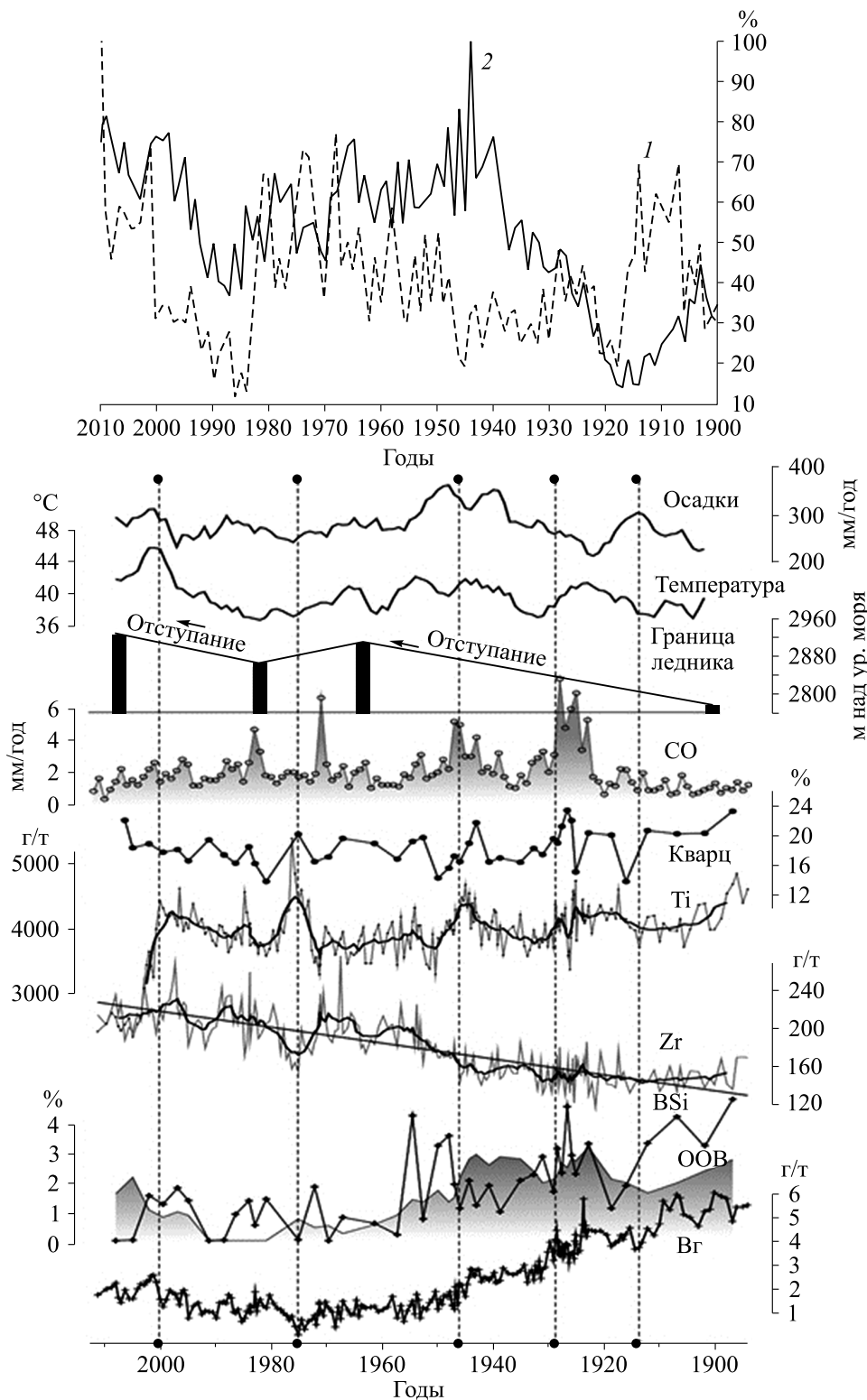


Рис. 4. Сравнение осредненных индексов прироста деревьев (в %) с характеристиками осадконакопления в прогляциальном оз. Эхой (по [11]), региональными климатическими параметрами и результатами геоморфологических наблюдений за ледником Перетолчина.

Осредненные индексы прироста (верхний график): 1 — лиственницы (с 1948 г. по 10 деревьям, с 1900 г. по 2 деревьям), 2 — кедра (с 1900 г. по 6 деревьям). Осадки — количество за год (5-летнее сглаживание); температура — сумма летних температур в районе исследований (5-летнее сглаживание). Граница ледника — положение нижней границы. СО — скорость осадконакопления в озере, BSi — биогенный кремнезем, OOB — общее органическое вещество.

1938–1970 гг. обусловили уменьшение массы ледника и редуцирование его границ. С 1965 по 1980 г. отмечалось общее понижение летних температур и наступание ледника [19]. Период устойчивой деградации ледника продолжался с 1980 по 2000 г. при резком потеплении в Северном полушарии. После 2000 г. темпы отступления ледника снизились.

Полученная периодизация достаточно хорошо согласуется с ходом прироста древесно-кольцевых серий, построенных по границе леса для кедра и лиственницы в перигляциальной зоне. Общий ход дендрограмм соответствует хронологиям для лиственницы приполярных районов Северной Азии и Алтае-Саянской горной страны [16, 20], где до середины XIX в. имел место малый ледниковый период, а затем до 2000 г. наблюдался тренд к потеплению.

Полученные древесно-кольцевые серии по диаметру годовых колец доминирующих пород деревьев, произрастающих в экстремальных условиях на границе леса под воздействием внешних факторов, в основном климатических, и биогенно обусловленных свойств, выявляют преимущественное влияние летних температурных условий на рост.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетняя динамика разнотипных геосистем перигляциальной зоны массива Мунку-Сардык в Восточном Саяне характеризуется общими трендами, которые варьируют в соответствии с особенностями функционирования и местонахождения природных комплексов, и определяется ведущим климатическим фактором, связанным с климатическими трендами Северной Азии и Восточного Саяна с проявлением локальных особенностей.

При сопоставлении реакции ледника Перетолчина на климатические изменения, скорости накопления донных осадков в прогляциальном оз. Эхой с приростом деревьев выявляются периоды отступления ледника (1900–1965 и 1983–2000 гг.), сопровождающиеся повышенным приростом деревьев и увеличением скорости осадконакопления, и периоды его наступания (1965–1980 гг.), с замедлением прироста деревьев и снижением скорости осадконакопления. С 2000 г. наблюдается нестабильность прироста деревьев, связанная с понижением среднемесячных летних температур. В целом отмечается положительная корреляция с изменениями летних температур в условиях горно-таежных геосистем ограниченного развития на границе леса для лиственницы и кедра, наиболее значимая для июля. Результаты термохронометрии показывают градиент температуры в июле $0,468\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$.

Установлена вековая и внутривековая цикличность природных процессов, проявляющаяся в приросте деревьев, произрастающих в экстремальных условиях. Синхронно выделяются периоды в древесно-кольцевой серии лиственницы, имеющей более короткий ряд, и в серии кедра с рядом в 375 лет, при этом в начальных гармониках у кедра выделяются и более крупные циклы.

Сравнивая характер прироста «ископаемого» дерева в оптимуме голоцена и современных деревьев-долгожителей, можно отметить большую чувствительность древнего дерева ($Kr = 0,43$) и меньшую современных (0,32 для лиственницы и 0,26 для кедра), более высокий (в два раза) абсолютный показатель прироста «ископаемого» дерева. В общем характере дендрограммы также прослеживается цикличность.

Работа выполнена в рамках проектов «Ландшафтно-географическое обеспечение экологической политики в природопользовании регионов Сибири» (0347–2014–0003) и «Пространственно-временная динамика нивально-гляциальных и гольцовых геосистем юга Восточной Сибири и Монголии» (0347–2014–0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перетолчин С. П. Ледники хребта Мунку-Сардык // Изв. Томск. техн. ин-та. — 1908. — Т. 9. — С. 1–47.
2. Каталог ледников СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — Т. 16. — 64 с.
3. Котляков В. М., Хромова Т. Е., Носенко Г. А., Попова В. В., Чернова Л. П., Муравьев А. Я., Роготаева О. В., Никитин С. А., Зверкова Н. М. Современные изменения ледников горных районов России. — М.: Т-во науч. изд. «КМК», 2015. — 288 с.
4. Китов А. Д., Коваленко С. Н., Плюснин В. М. Итоги 100-летних наблюдений за динамикой гляциальных горных геосистем массива Мунку-Сардык // География и природ. ресурсы. — 2009. — № 3. — С. 101–108.
5. Котляков В. М., Гросвальд М. Г., Дюргеров М. Б., Мазо В. Л. Реакция оледенения на предстоящие изменения климата // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1991. — № 5. — С. 35–45.

6. Тимошок Е. Е., Нарожный Ю. К., Диркс М. Н., Скороходов С. Н., Берёзов А. А. Динамика ледников и формирование растительности на молодых моренах Центрального Алтая. — Томск: Изд-во НТЛ, 2008. — 208 с.
7. Комаров В. Л. Поездка в Тункинский край и на оз. Косогол в 1902 г. // Избр. соч. — М.: Изд-во АН СССР, 1953. — Т. 9. — С. 217–291.
8. Китов А. Д., Плюснин В. М. Базы данных ледников Прибайкалья // Материалы междунар. конф. «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение». — Краснодар: Изд-во Куб. ун-та, 2015. — С. 318–332.
9. Kitov A. D., Plyusnin V. M. Nival-glacial dynamic of geosystems in Eastern Siberia (Russia) for the last 50 years // Environmental Earth Sciences — 2015. — Vol. 74, N 3. — P. 1915–1930.
10. Суворов Е. Г., Китов А. Д. Ландшафтная структура юго-восточной части Восточного Саяна // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 4. — С. 107–114.
11. Преображенский В. С., Фадеева Н. В., Мухина Л. И., Томилов Г. М. Типы местности и природное районирование Бурятской АССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 219 с.
12. Михайлов Н. И. Горы Южной Сибири: Очерк природы. — М: Географгиз, 1961. — 239 с.
13. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1960. — Вып. 23, ч. 2. — 320 с.; 1968. — Вып. 23, ч. 4. — 328 с.
14. Метеорологический ежемесячник. — Иркутск; Новосибирск: Иркут. территор. управление гидрометслужбы, 1961–1991. — Вып. 22, ч. 2.
15. Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. — М.: Наука, 1986. — 137 с.
16. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г. Дендроклиматические и дендрозоологические исследования в Северной Азии // Лесоведение. — 2005. — № 4. — С. 18–27.
17. Степанова О. Г., Трунова В. А., Зверева В. В., Мельгунов М. С., Петровский С. К., Крапивина С. М., Федотов А. П. Динамика ледника Перетолчина (Восточный Саян) в XX веке по донным осадкам прогляциального озера Эхой // Геология и геофизика. — 2015. — Т. 56, № 9. — С. 1621–1629.
18. Stepanova O. G., Trunova V. A., Sidorina A. V., Zvereva V. V., Melgunov M. S., Petrovskii S. K., Krapivina S. M., Fedotov A. P., Rakshun Ya. V. Investigating Bottom Sediments from Proglacial Lake Ehoi (Eastern Sayan Ridge) by Means of SR–XRF // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. — 2015. — Vol. 79, N 1. — P. 118–121.
19. Kitov A. D., Kovalenko S. N., Plyusnin V. M., Suvorov E. G. Modern changes of the high-mountain landscapes and glaciation in Southern Siberia (Russia) by the example of the Eastern Sayan mountains // Environmental Earth Sciences. — 2015. — Vol. 74, N 3. — P. 1931–1946.
20. Ойдупаа О. Ч., Ваганов Е. А., Наузбаев М. М. Длительные изменения летней температуры и радиальный рост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране // Лесоведение. — 2004. — № 6. — С. 14–24.

Поступила в редакцию 5 сентября 2016 г.
