

ВОЗМОЖНОСТИ ФИТОИНДИКАЦИИ СЕЗОННОЙ ГЛЯЦИОСФЕРЫ В ГОРНО-ЛЕДНИКОВОМ БАССЕЙНЕ АКТРУ (СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛТАЙ)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Современные географические процессы Сибири: динамика, закономерности развития и экологические аспекты» (соглашение № 14.В37.21.2025 от 14.11.2012 г.) в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Рассмотрена история применения фитоиндикационного метода в географии. В работе исследованы возможности применения фитоиндикации для определения средней многолетней толщины снежного покрова в высокогорьях, приведена полученная зависимость высоты особей *Salix vestita* от среднемноголетней толщины снегового покрова. Проанализировано видовое разнообразие растительности наледных участков разного происхождения в горно-ледниковом бассейне Актру (Центральный Алтай). Исследованы возможности фитоиндикации наледных участков.

Ключевые слова: сезонная гляциосфера; наледи; фитоиндикация; снежный покров.

Введение

Непосредственные измерения сезонной гляциосферы, к которой относятся снежный покров и наледи, требуют проведения длительных специальных и трудоемких работ в зимне-весеннее время и довольно затруднительны в силу малой доступности высокогорных районов. В настоящее время в нашей стране также сокращается сеть гидрометеорологических станций, основная масса которых к тому же приурочена к долинам рек, поэтому данных для корректного обоснования зависимостей характеристик снежного покрова для значительных территорий, особенно горных, недостаточно. Учитывая сложность и мозаичность снежного покрова в горах, при построении карт снежного покрова необходимо более полно использовать характеристики горных (и особенно высокогорных) ландшафтов, и в первую очередь наиболее их выразительный компонент – растительность [1].

В условиях высокогорий непосредственные измерения (снегосъемка, картирование наледных полей и т.д.) проводятся в силу слабой доступности в зимне-весенний период, главным образом в модельных долинах. К наиболее исследованным в настоящее время можно отнести долину р. Актру, исследования в которой под руководством профессора М.В. Тронова были начаты в 1956 г. Изучением сезонной гляциосферы в горно-ледниковом бассейне Актру занимались М.А. Душкин и Н.И. Иванов в 1965 г. Ежегодные наблюдения за снежным покровом, продолжающиеся и в настоящее время, на наледниковой поверхности стали проводиться с 1976 г. проблемной научно-исследовательской лабораторией Томского государственного университета. В этот период была установлена сеть снегомерных площадок и профилей, где описаны высота и плотность снежного покрова на разных высотных уровнях и установлено 9 суммарных осадкомеров [14, 15].

Экосистемы в нивально-гляциальных условиях высокогорий чутко реагируют на различные изменения климата. Изучение пространственной и временной структуры этих систем весьма актуально для реконструкции их прошлых и прогноза будущих состояний.

Для получения характеристик сезонной гляциосферы возможно применение фитоиндикации, так как фитоценозы и отдельные растения могут сохранять «следы» воздействия факторов среды обитания.

Фитоиндикационный метод получил широкое применение в опыте многих исследований, которые проводились на Дальнем Востоке А.М. Мартыновой [8], в районе Восточного Приэльбрусья А.В. Яшиной [5] и др., которые впервые выдвинули конкретные идеи ландшафтно-индикационного снеговедения, исследовали влияние древесной растительности на снегозапасы.

Э.Г. Коломыц [6] с 1964 г. проводит работы по изучению влияния растительности на снегоперенос, а также структуру снежной толщи в различных районах европейской части бывшего СССР, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Основные исследования были сосредоточены в Кондо-Сосьвинском Приобье, где был осуществлен многолетний цикл стационарных наблюдений. В его монографии «Структура снега и ландшафтная индикация», изданной в 1976 г., излагаются теория и методы структурного и ландшафтно-индикационного снеговедения.

Изучением влияния снежного покрова на закономерности формирования и распределения растительности на Центральном Кавказе занималась А.В. Яшина [5]. В ее работе основное внимание было уделено размещению растительных сообществ в зависимости от условий снегонакопления. В высокогорьях Урала индикацией снежного покрова по ботаническим признакам, основанной на учете влияния, оказываемого снегом на внешний облик и прирост деревьев и кустарников, а также состав, структуру и распределение растительных сообществ, занимались П.Л. Горчаковский и С.Г. Шиятов [7].

Многие ученые [5, 7, 8 и др.] неоднократно поднимали вопрос о существенной роли снежного покрова в формировании пространственно-временных особенностей фитоценозов. С целью обоснования возможностей определения высоты и плотности снежного покрова по растительности проводились исследования на Кавказе [5], на восточном склоне Кузнецкого Алатау [9]. Проведенные исследования позволили получить данные, указывающие на то, что именно характеристики снеж-

ного покрова определяют различия количественного участия в растительных сообществах травянистых растений, отличающихся типом корневой системы, особенностями размножения, возрастным спектром и т.д. Ландшафтно-географический метод картирования, т.е. приуроченность различных типов растительности к определенной минимальной толщине снега, при которой они способны выдержать суровые условия горной зимы без вымерзания, в известной мере был уже использован В.Г. Ходаковым при составлении карты максимальных снегозапасов на Полярном и Приполярном Урале [10].

Как показывает анализ имеющихся литературных данных [6, 11 и др.], наиболее существенное влияние снежного покрова на растительность выражается в следующем: защита растений от низких зимних температур и испарения; повышение снабжения почв влагой; сокращение вегетационного периода (при максимальной мощности снежного покрова).

В целом, можно сказать, что снежный покров как важнейший экологический фактор для переживания растениями и растительными сообществами неблагоприятных условий зимнего периода изучен еще недостаточно. Имеющиеся в литературе сведения либо касаются отдельных сторон этого влияния, либо рассматривают физиологические и анатомические проблемы зимостойкости растений в отрыве от режима зимы и условий снегонакопления.

По фитоиндикации снежного покрова Алтая особенно следует отметить работу В.С. Ревякина и В.И. Кравцовой [12]. Несмотря на то что авторы для построения карты снежного покрова применяют ландшафтно-индикационный метод, в работе имеются сведения о соответствии высоты снежного покрова определенной растительности. Кроме того, следует учитывать, что базой для построения этой индикационной карты послужила ландшафтная карта Г.С. Самойловой [13], в которой одним из отличительных признаков при классификации ландшафтов на типы и подтипы является растительность. Аналогичным образом построена ландшафтно-индикационная карта снежного покрова Алтае-Саянской горной области Г.С. Самойловой (1980). В отличие от первой данная карта имеет меньший шаг увеличения толщины снежного покрова, что предполагает большую точность индикации.

Растительно-индикационная карта снежного покрова Алтая построена В.Е. Дмитриевым и С.Я. Орленко в масштабе 1:1 600 000 [14].

На Коргонском, Абаканском и Башчелакском хребтах (Горный Алтай) в 1986–1990 гг. исследования проводились Н.И. Быковым [15]. Для этого периода были проанализированы показатели снежного покрова по видовому разнообразию различных экологических групп растений, проективному покрытию растительных сообществ. На основе многолетних наблюдений на ключевых участках впервые для территории Алтая составлены растительно-индикационные таблицы среднесезонных значений снежного покрова и карты (на уровне формаций растительных сообществ) современного состояния снежного покрова и наледных процессов [15].

В нашей работе исследованы возможности применения фитоиндикации для определения средней много-

летней толщины снежного покрова в высокогорьях и проанализировано видовое разнообразие растительности наледных участков разного происхождения в горно-ледниковом бассейне Актру (Центральный Алтай).

Материалы и методики исследований

Исследованы возможности применения фитоиндикации для определения высоты снежного покрова и наледных массивов в горно-ледниковом бассейне Актру, расположенном в восточной части горного узла Биш-Иирду на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта. Этот горно-ледниковый бассейн является репрезентативным для Алтая по орографическим признакам, условиям залегания крупных ледников, ландшафтным и климатическим признакам. Климатическая репрезентативность подтверждена многочисленными экспериментальными данными. Климатические условия оледенения в бассейне приближены к некоторым средним значениям для Алтая и более типичны, чем в районе Белухи [16, 17].

Следовательно, этот горно-ледниковый бассейн является уникальным модельным полигоном для мониторинга природно-климатических и экосистемных изменений для значительной территории Алтая.

В горно-ледниковом бассейне Актру для фитоиндикации снежного покрова на абсолютных высотах 2 150–2 450 м авторами в составе экспедиций лаборатории динамики и устойчивости экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН было заложено девять пробных площадей: три из них расположены на моренном комплексе ледника Малый Актру (2240 м над ур. м.); по одной в ерниковом фрагменте старовозрастного кедрового леса, выше морен ледника Малый Актру (2 350 м над ур. м.), в кедровом ерничково-зеленомошно-лишайниковом лесу у подножья фронтальной морены ледника Малый Актру (2 200 м над ур. м.); на моренном комплексе ледника Большой Актру (2 450 м над ур. м.); три пробные площади – в долине р. Актру на флювиогляциальных отложениях (2 150 м над ур. м.).

В качестве объекта исследования влияния снежного покрова на растительность был выбран растительный покров горно-ледникового бассейна Актру. Наиболее чувствительна к условиям снежности травянистая и кустарниковая растительность [7]. Поэтому в качестве видов-индикаторов были выбраны широко распространенные в горно-ледниковом бассейне Актру виды кустарников, в значительном обилии присутствующие на всех пробных площадях: березка круглолистная (*Betula rotundifolia*) и три вида ив: ива Сапожникова (*Salix saposchnikovii*), ива (*S. vestita*), ива (*S. coesia*).

На каждой пробной площади для исследования было выбрано по 10–15 модельных побегов каждого модельного вида. На пробных площадях в течение трех лет (2003–2005 гг.) подряд и в 2010 г. проведены измерения вегетативных и генеративных побегов (на каждом модельном виде по 3–4 побега), у основания которых были прикреплены бирки с указанием высоты и даты измерения. Для уточнения возраста кустарников побегов были сделаны спилы.

В зимний период (2003–2005 гг.) и в 2010 г. проводилась снегосъемка с помощью переносной рейки по

кресту или треугольнику через 2–3 м. Но обычные снегомерные съемки с помощью переносной рейки не дают возможности судить об изменении снегозапасов в отдельных точках, потому что они не закреплены на местности и измерения при каждой новой снегомерной съемке практически производятся в разных точках. Снегомерные съемки с помощью переносной рейки позволяют определить осредненную по маршруту в целом высоту снежного покрова, но не дают возможности с достаточной точностью оценить его изменение (приращение в сравнении с предыдущей снегомерной съемкой) на отдельных элементах рельефа и растительного покрова вследствие того, что измерения переносной рейкой невозможно производить в одних и тех же точках, а смещение при каждой новой снегомерной съемке означает несравнимость данных с предыдущими снегомерными съемками. Поэтому необходимые данные для изучения динамики высоты снежного покрова на отдельных элементах рельефа на постоянных пробных площадях мы получали также с помощью метода измерения высоты снега в фиксированных точках [18]. Согласно этому методу, на участке (маршруте), предназначенном для изучения формирования снежного покрова, непосредственно у наблюдаемых кустарников с осени устанавливались постоянные снегомерные рейки.

На моренном комплексе ледника Малый Актру (2 240 м) в 2004 г. на пробных площадях 1 и 2 высота модельных побегов *Salix saposhnikovii* изменялась от 31 до 40 см, *S. Vestita* – 50–71 см, *Betula rotundifolia* – 70–85 см, высота снежного покрова колебалась от 37 до 78 см, в мезопонижении на пробной площади 3 высота модельных побегов *Salix saposhnikovii* варьировала от 60 до 80 см, *S. Vestita* – 70–89 см, *Betula rotundifolia* – 80–93 см, высота снежного покрова менялась от 68 до 85 см. В ерниковом фрагменте старовозрастного кедрового леса, выше морены ледника Малый Актру (2 350 м над ур. м.), на пробной площади 4 высота модельных побегов *Salix saposhnikovii* колеблется от 110 до 130 см, *S. Vestita* – 100–125 см, *Betula rotundifolia* – 110–135 см, высота снежного покрова – 100–120 см. На моренном комплексе ледника Большой Актру (2 450 м) высота модельных побегов *Salix saposhnikovii* варьировала от 65 до 80 см, *S. Vestita* – 47–57 см, высота снежного покрова – от 37 до 70 см. В кедровом ерничково-зеленомошно-лишайниковом лесу у подножья фронтальной морены ледника Малый Актру (2 200 м) на пробных площадях 5 и 6 высота модельных побегов *Salix saposhnikovii* менялась от 100 до 160 см, *S. Vestita* – 90–110 см, *Betula rotundifolia* – 120–185 см, высота снежного покрова колебалась от 90 до 170 см. На 7–9 пробных площадях в долине р. Актру на флювиогляциальных отложениях (2 150 м) высота модельных побегов *Salix saposhnikovii* менялась от 150 до 300 см, *S. Vestita* – 120–150 см, *Betula rotundifolia* – 128–187 см, высота снежного покрова – от 130 до 220 см.

В долине р. Актру на участках ежегодного образования наледи были заложены четыре постоянные пробные площади и сделаны геоботанические описания. Для изучения структуры льда применялось его бурение кольцевым буром. Результаты бурения использовались также для получения информации о толщине льда.

С этой же целью использовался метод нанесения меток на «залитых» наледью деревьях, валунах и скалах в период их максимального развития (конец марта – начало апреля).

Результаты исследований и обсуждение

Проведенные нами исследования показали достоверную зависимость высоты полностью погребенных снегом кустарников от среднеголетней толщины снежного покрова.

Наиболее статистически значимые результаты были получены для *Salix vestita* (коэффициент корреляции толщины снежного покрова и высоты кустарника 0,87). Для других видов коэффициент корреляции ниже (менее 0,85), что ограничивает возможность их практического использования.

Зависимость среднеголетней толщины снежного покрова является практически линейной и может быть описана через обычную линейную регрессию как

$$TC = 0,95 \times CBK + 7,$$

где TC – среднеголетняя толщина снежного покрова, CBK – средняя высота куста.

При этом под среднеголетней толщиной снежного покрова понимается средняя толщина снега за средний срок жизни побега *Salix vestita* в используемом для индикации сообществе, т.е. около 20–25 лет. Ограничением метода является невозможность получения данных за больший срок. Также ограничением метода является его невысокая эффективность в лесных сообществах и в мезопонижениях рельефа. Причиной этого ограничения является тот факт, что коэффициент корреляции для тех и других сообществ является менее значимым (порядка 0,64).

Как показали наши исследования, при подборе модельных видов, по средней высоте побегов которых будет оцениваться толщина снежного покрова, не следует включать в выборку стелющиеся, а также невысокие молодые побеги.

Учитывая характер и степень воздействия на растения факторов среды, контролируемых снежным покровом, можно определять по ботаническим индикационным признакам следующие показатели тех или иных местообитаний: 1) среднюю (за несколько лет) мощность снежной толщи; 2) максимальную мощность снежного покрова; 3) плотность снега; 4) время схода снежного покрова.

Для определения средней за последние годы мощности снежной толщи в период ее максимального развития может быть использована высота распластанных кустарников (*Betula rotundifolia*, *Salix vestita*, *S. glauca*, *S. saposhnikovii*). В условиях суровых зим, свойственных высокогорьям, надземные побеги кустарников выживают только под прикрытием снежного покрова. Все побеги, превышающие уровень снега, отмирают. По высоте этих выровненных как по линии снежного покрова кустарников нетрудно определить мощность снежной толщи.

Фитоиндикационные исследования наледных процессов на Алтае в бассейнах рек Кубадру и Маашей (Курайский и Северо-Чуйский хребты) проводились Н.И. Быковым в период с 1987 по 1997 г. Им описано

видовое и родовое разнообразие флоры на участках ежегодного и периодического образования наледей и на внеледных участках и сделана оценка степени измененности флоры под воздействием наледи. Определена индикационная значимость более 100 видов и выявлен диапазон экологического присутствия 170 видов растений относительно толщины наледей [21].

Одной из характерных черт ледниковых долин Северо-Чуйского хребта являются и периодически повторяющиеся образования наледей в холодный зимний период [19, 20 и др.].

Изучение наледных явлений на Северо-Чуйском хребте с 1958 г. проводились Н.А. Душкиным и И.М. Мерзляковым [19], которые выделяют три основных типа наземных наледей в указанной долине хребта, типизируя их по промерзанию того водоносного тракта, по которому циркулирует вода: речные наледы, наледы грунтовых вод флювиогляциальных отложений дна долин, наледы грунтовых вод склонов. Динамика наледей в горно-ледниковых долинах Центрального Алтая проанализирована за период 1978–1991 гг. Ю.К. Нарожным [20], но в перечисленных работах нет данных о растительности мест, покрываемых наледями.

В долине р. Актру наледи образуются на значительных площадях, нередко целиком заполняя долину на протяжении нескольких километров (иногда до 7 км длины при ширине 200–350 м) [19]. Мощность наледных льдов здесь обычно колеблется в пределах 0,6–1,8 м, а в малоснежные и холодные зимы достигает максимальной мощности в 2,5–3 м. Образование наледей в долине р. Актру происходит практически в течение всего холодного периода года с момента установления постоянных отрицательных температур воздуха в октябре, а их наиболее интенсивное образование начинается по мере промерзания первых 50–80 см горизонтов толщи рыхлых отложений. Разрушение наледных льдов происходит в мае и окончательно ставится в конце июня – начале июля [20].

Наледи, залегая на поверхности почвы в течение большей части зимы и вегетационного периода растительного покрова, оказывают другое влияние, чем мощные снеговые покровы, поскольку в отличие от снега лед обладает большей теплопроводностью (в 10 раз) и очень малой воздухопроницаемостью [2], а также медленным их стаиванием, что ведет к сокращению вегетационного периода. Большая мощность наледей, по сравнению со снежным покровом, не может полностью нивелировать влияние повышенной теплопроводности льда, и следует предполагать, что температурный режим почв под покровом наледных льдов значительно более суровый, чем под покровом снега. В отношении снабжения почв влагой наледные льды мало отличны от снежного покрова, так как значительная часть влаги при стаивании их теряется для залегающих под ними почв благодаря стоку по поверхности наледи. Мощность и длительность залегания наледей являются основными экологическими факторами.

Наши исследования показали, что наледы, занимающие значительные площади, как правило безлесны. Лишь в периферии наледных полей, где их мощность невелика, появляется древесная растительность. Из древесной растительности на наледных участках чаще

всего встречается *Larix sibirica*, реже *Pinus sibirica*. Наиболее характерны для наледных местоположений заросли кустарников, прежде всего ив: *Salix coesia* (10%), *S. saposhnikovii* (10–25%), *S. pyrolifolia*, *S. hastata*, *S. arctica*, *S. rectijulis*, *S. divaricata* – встречаются единично. Значительно представлены *Betula rotundifolia* (10%) и *B. fruticosa* (5%). Кустарниковой растительностью заняты наибольшие площади, покрываемые наледями, характеризующие места наиболее мощного залегания наледей. Сомкнутость кустарниковых зарослей колеблется от 30%, при развитии на грунтовой наледи на флювиогляциальных отложениях дна долины, до 70% – при развитии речной наледи. На грунтовой наледи высота кустарникового яруса составляет 30–70 см, на речной – до 150 см.

Травяной покров разрежен. Наиболее часто встречаются виды семейства Asteraceae (10 видов), Poaceae (8 видов), Cyperaceae (5 видов), меньшее число представителей имеют семейства Rosaceae, Fabaceae, Onagraceae, Apiaceae, Pyrolaceae, Caryophyllaceae, Pinaceae. Единично встречаются следующие виды: *Polygonum viviparum*, *Swertia marginata*, *Castilleja pallida*, *Parnassia palustris*, *Lonicera altaica*, *Polemonium coeruleum*, *Campanula rotundifolia*. Широко распространен на наледных площадках хвощ – *Equisetum variegatum*, особенно обильно, до 50%, встречается на более жесткой грунтовой наледи. Т.е. можно свидетельствовать, что хвощ является индикатором наледных явлений.

Хорошо выражен мохово-лишайниковый покров, где широкое распространение получили: *Sanionia uncinata* – до 90%, *Brachythecium turgidum*, *Syntrichia ruralis*, *Tortella tortuosa*, *Tortella fragilis*, *Ditrichum flexicaule*, *Philonotis fontana*, *Bryum creberrimum*, *Bryum turbinatum*, *Campyladelphys chrysophyllus*, *Bryoerythrophyllum recurvirostrum*.

Итак, на исследованных наледных участках в зоне ежегодного образования наледи было зафиксировано 60 видов высших сосудистых растений, из них 18 видов древесных (в основном кустарники), 22 семейства и 39 родов. Из-за короткого вегетационного периода на наледных участках преобладают многолетние растения. Древесный ярус при мощных наледях не может существовать не только благодаря их малой воздухопроницаемости и слабому защитному действию от низких температур, но также и благодаря их разрушительному механическому действию. Широкое распространение кустарниковой растительности можно объяснить своеобразием экологических условий наледных местоположений. Развитию же травянистой растительности не благоприятствует пониженное снабжение воздухом и неблагоприятный температурный режим зимой (благодаря слабому защитному действию ледяного покрова), и только хвощ и некоторые мхи могут здесь успешно произрастать.

Заключение

Развитие растительно-индикационного метода исследования снежного покрова и наледей позволит в дальнейшем сократить объем проводимых в настоящее время на станциях весьма трудоемких снегомерных наблюдений и получить реальные характеристики сне-

гозапасов и толщины льда, особенно для районов со сложной орографией.

Для определения средней мощности снежного покрова в горно-ледниковом бассейне Актру может быть использована высота распластанных кустарников, наиболее часто встречающихся в долине (березка круглолистная (*Betula rotundifolia*), ива Сапожникова (*Salix saposhnikovii*), ива (*S. vestita*), ива (*S. coesia*)). В условиях суровых зим, свойственных высокогорьям, надземные побеги этих кустарников выживают только под прикрытием снежного покрова. Все побеги, превышающие уровень снега, отмирают. Наиболее статистически значимые результаты были получены для *Salix vestita* (коэффициент корреляции толщины снегового покрова и высоты кустарника 0,87). Для других видов коэффициент корреляции ниже (менее 0,85), что ограничивает возможность их практического использования. Малопригодны для индикации уровня снежного покрова

некоторые виды ив: *S. Coesia*, *S. pyrolifolia*, *S. hastata*, *S. arctica*, *S. rectijulis*, *S. Divaricata*, потому что их побеги нередко выживают и без прикрытия снегом.

На наледных участках самыми распространенными по числу видов являются семейства Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae. Наиболее характерны для наледных местоположений заросли кустарников, прежде всего ив: *Salix coesia* (10%), *S. saposhnikovii* (10–25%); *S. pyrolifolia*, *S. hastata*, *S. arctica*, *S. rectijulis*, *S. divaricata* – встречаются единично. Значительно представлены и *Betula rotundifolia* (10%), *B. fruticosa* (5%). Кустарниковой растительностью заняты наибольшие площади, покрываемые наледями, характеризующие места наиболее мощного залегания наледей. Широко распространен на наледных площадках моховой покров и хвощ *Equisetum variegatum*, особенно обильно (до 50%) встречается на более жесткой грунтовой наледи. Можно свидетельствовать, что хвощ является индикатором наледных явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляков В.М., Забиров Р.Д., Ревакин В.С. Роль гляциологических исследований при изучении и освоении горных областей // Комплексное географическое изучение и освоение горных территорий. Л., 1980. С. 37–49.
2. Тушинский Г.К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза. М.: Географгиз, 1963. 312 с.
3. Нефедьева Е.А., Яшина А.В. Роль снежного покрова в дифференциации ландшафтной сферы. М., 1985.
4. Груднин Г.В. Снежный покров юга Минусинской котловины. Новосибирск: Наука, 1981. 160 с.
5. Яшина А.В. Влияние снежного покрова на структуру высотной поясности Большого Кавказа // Известия АН СССР. Сер. Геогр. 1981. № 3. С. 117–126.
6. Коломыйц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 206 с.
7. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. С. 60–75.
8. Мартынова А.М. Пространственное распределение снежного покрова как индикатор дифференциации горнотаяжных ландшафтов хребта Мяо-Чан // Стационарные гидрологические исследования на юге Дальнего Востока. Владивосток, 1979. С. 140–154.
9. Дмитриев В.Е., Гуреева И.И., Танзыбаев М.Г. и др. Роль снежного покрова в формировании пространственно-временных особенностей биоценозов // Сезонная ритмика природы горных областей. Л., 1982. С. 17–19.
10. Ходаков В.Г. Роль снежного покрова в природе ландшафтов Севера и его физические свойства // Известия АН СССР. Сер. Геогр. 1975.
11. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Л., 1960.
12. Ревакин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск, 1977. С. 59–60.
13. Самойлова Г.С. Ландшафтная структура физико-географических регионов Горного Алтая // Природа и природные ресурсы Горного Алтая. Вопросы географии. М.: Мысль, 1982. Вып. 121. С. 22–45.
14. Снежно-водно-ледниковые ресурсы бассейна Верхней Оби и прогнозы стока весеннего половодья / под ред. Д.А. Буракова. Томск, 1986. С. 32–79.
15. Быков Н.И. Растительные индикаторы наледных процессов на Алтае // География и природопользование Сибири. Барнаул: Изд-во АГУ, 1999. Вып. 3. С. 61–78.
16. Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.Н. Основные черты климата горноледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1965. Вып. 4. С. 3–48.
17. Тронов М.В. Ледники и климат. Л.: ГИМИЗ, 1966. 408 с.
18. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Л., 1960. 171 с.
19. Душкин М.А., Мерзляков И.М. Наледи в верховьях долин Северо-Чуйского хребта в Центральном Алтае // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1976. Вып. 5. С. 35–41.
20. Нарожный Ю.К. Формирование и режим наледей в горно-ледниковых долинах Центрального Алтая // Вопросы географии Сибири. Томск, 1997. Вып. 22. С. 129–137.
21. Быков Н.И. Растительные индикаторы наледных процессов на Алтае // География и природопользование Сибири. Барнаул: Изд-во АГУ, 1999. Вып. 3. С. 61–78.
22. Алексеев В.Р. Наледи и наледные процессы (вопросы классификации и терминологии). Новосибирск: Наука, 1978. 188 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 25 января 2013 г.