

Особенности пространственной дифференциации снежного покрова в низкогорных ландшафтах Русского Алтая (на примере бассейна р. Майма)

© 2017 г. Л.Ф. Лубенец^{1*}, Д.В. Черных^{1,2}, Д.К. Першин^{1,2}

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия;

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

*lilia_lubenets@mail.ru

Features of spatial differentiation of snow cover in low-mountain landscapes of the Russian Altai (case study of the Maima River basin)

L.F. Lubenets^{1*}, D.V. Chernykh^{1,2}, D.K. Pershin^{1,2}

¹Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia;

²Altai State University, Barnaul, Russia

*lilia_lubenets@mail.ru

Received February 1, 2017

Accepted May 23, 2017

Keywords: *low-mountain landscapes, snow cover, snow depth, snow water equivalent.*

Summary

The paper presents results of snow route measurements carried out during two winter seasons (2014/15 and 2015/16) over the period of maximum snow accumulation. The region of investigation was mainly the low-mountain basin of the river Maima (North, North-East Altai). Meteorological conditions for these periods (amounts of precipitation and mean monthly temperatures) were compared with climatic data (1985–2016). The results obtained allowed establishing a relationship between the spatial and temporal variability of the snow depth, density and SWE (snow-water equivalent) and the weather conditions, orographic features (exposure and steepness of slopes), and characteristics of the underlying surface. The winter of 2014/15 was warm and moderately snowy season, while the winter of 2015/16 was warm but with small amount of snow. At the subtype level of the landscapes the maximum values of the snow cover thickness and the snow storage were observed in the chern-taiga landscapes, and the smallest ones – in the sub-taiga part of the basin area. The maximum snow storages (SWE) are characteristic for the secondary small-leaved forests and meadows, where these values exceed similar ones under the indigenous fir trees by 30%.

Citation: Lubenets L.F., Chernykh D.V., Pershin D.K. Features of spatial differentiation of snow cover in low-mountain landscapes of the Russian Altai (case study of the Maima River basin). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2018. 58 (1): 56–64. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-1-56-64

Поступила 1 февраля 2017 г.

Принята к печати 23 мая 2017 г.

Ключевые слова: *низкогорные ландшафты, снегозапасы, снежный покров, толщина снежного покрова.*

Приводятся результаты двухлетних снегомерных наблюдений в бассейне р. Майма в период максимума снегонакопления. Анализируется высотно-поясная дифференциация и межгодовая изменчивость основных характеристик снежного покрова на уровне подтипов ландшафтов. Отмечается ряд факторов, влияющих на величины снегонакопления, включая высокую антропогенную составляющую.

Введение

Региональные исследования снежного покрова чрезвычайно важны с нескольких позиций. В условиях общего дефицита гидрометеорологической информации любые данные о функционировании речных бассейнов – ценный источник информации при решении широкого спектра научных и практических задач. В первую очередь это касается гидрологического прогнозирования и использования данных о снегонакоплении в гидрологических моделях. Сведения

о снежном покрове важны также с точки зрения динамики и функционирования ландшафтов, включая регламентирование природопользования. Методы исследования снежного покрова постоянно совершенствуются, а наличие региональных исследований позволяет сравнивать результаты и оценивать применимость тех или иных методик для конкретных территорий. В настоящее время широкое применяются дистанционные методы исследований снежного покрова, особенно в горных территориях [1–6]. Из-за большой контрастности горных ландшафтов и

сложности их пространственно-временной организации не теряют своей актуальности и наземные наблюдения, они позволяют уточнять и корректировать дистанционные данные. Наземные изменения плотности снежного покрова играют также важную роль в региональных моделях распределения снеготаяния [7–10].

Низкогорья составляют более половины площади бассейна Верхней Оби. Здесь формируется значительная часть стока первой волны половодья [11]. Антропогенные изменения ландшафтов низкогорий существенно отражаются на организации ландшафтов и, в частности, на распределении снежного покрова. Бассейн р. Майма весьма репрезентативен для рассматриваемой территории. Цель настоящего исследования – изучить пространственную дифференциацию основных характеристик снежного покрова в бассейне р. Майма в период максимального снеготаяния в 2014/15 и 2015/16 гг.

Наше исследование предусматривало: 1) анализ метеоусловий зимнего периода рассматриваемых лет по сравнению со средними многолетними значениями и оценка их влияния на особенности снеготаяния; 2) изучение дифференциации снежного покрова на разных высотных уровнях в период максимального снеготаяния; 3) рассмотрение основных характеристик снежного покрова в разных ландшафтах с учётом структуры наземного покрова.

Территория исследования

Объект исследования – преимущественно низкогорный бассейн р. Майма (диапазон высот 260–1460 м, площадь 776,5 км²), расположенный в пределах Северной Алтайской (69,6%) и Северо-Восточной Алтайской (30,4%) физико-географических провинций Алтайской горной области [12, 13]. По данным ГМС Кызыл-Озёк, расположенной в низовьях бассейна, среднегодовая температура воздуха составляет +1,0 °С, годовая сумма осадков – 795 мм. Продолжительность периода со среднесуточной температурой ниже 0 °С равна 170 дням. Устойчивый снежный покров образуется в первую декаду ноября. Сход снега происходит в третьей декаде марта, реже – в первой декаде апреля. Максимальные снеготаяния до 1966 г. наблюдались в марте

(первая – вторая декада). С 1966 г. по настоящее время максимум снеготаяния смещается на конец февраля – начало марта [14]. В бассейне р. Майма преобладают склоны теневых (северная, северо-восточная, северо-западная) экспозиций [15], что предполагает более длительное снеготаяние и более растянутый паводок.

Для бассейна р. Майма, как и для Русского Алтая в целом, характерно преобладание лесного пояса. В бассейне представлены чернево-таёжные субнеморальные (247,66 км², или 31,9% общей площади), подтаёжные (480,89 км² – 62%) и лесостепные барьерно-циклонические (47,48 км² – 6,1%) ландшафты [13]. В современной ландшафтной структуре бассейна значительную долю его площади занимают антропогенные модификации ландшафтов: вторичные луга, пашни, лесопосадки, застроенные участки [16], что необходимо учитывать при изучении особенностей снеготаяния.

Методы исследования

Исследования проводились ландшафтно-маршрутным методом с использованием снегомерных площадок [17, 18]. Линейные маршруты прокладывались в различных высотных частях бассейна с учётом ландшафтной специфики территории. Расстояние между точками измерений толщины снежного покрова – 20 м. Плотность снежного покрова определялась в каждой пятой точке маршрута, т.е. через каждые 100 м с помощью весового снегомера ВС-43. Снегомерные площадки закладывались в пределах репрезентативных участков, отражающих особенности снеготаяния основных типов ландшафтных выделов. Толщина снежного покрова измерялась в 20 точках, расстояние между которыми составляло 5 м, реже 2 м (на склонах крутизной более 30°), плотность снежного покрова определялась в пяти точках (рис. 1).

Исследования вели на протяжении пяти дней в период максимального снеготаяния (конец февраля – начало марта). За исследуемый период выполнено 1190 измерений толщины и 342 измерения плотности снежного покрова. Работы проводились на разных высотных уровнях, соответствующих подтипам ландшафтов: лесостепных (диапазон высот 327–577 м),

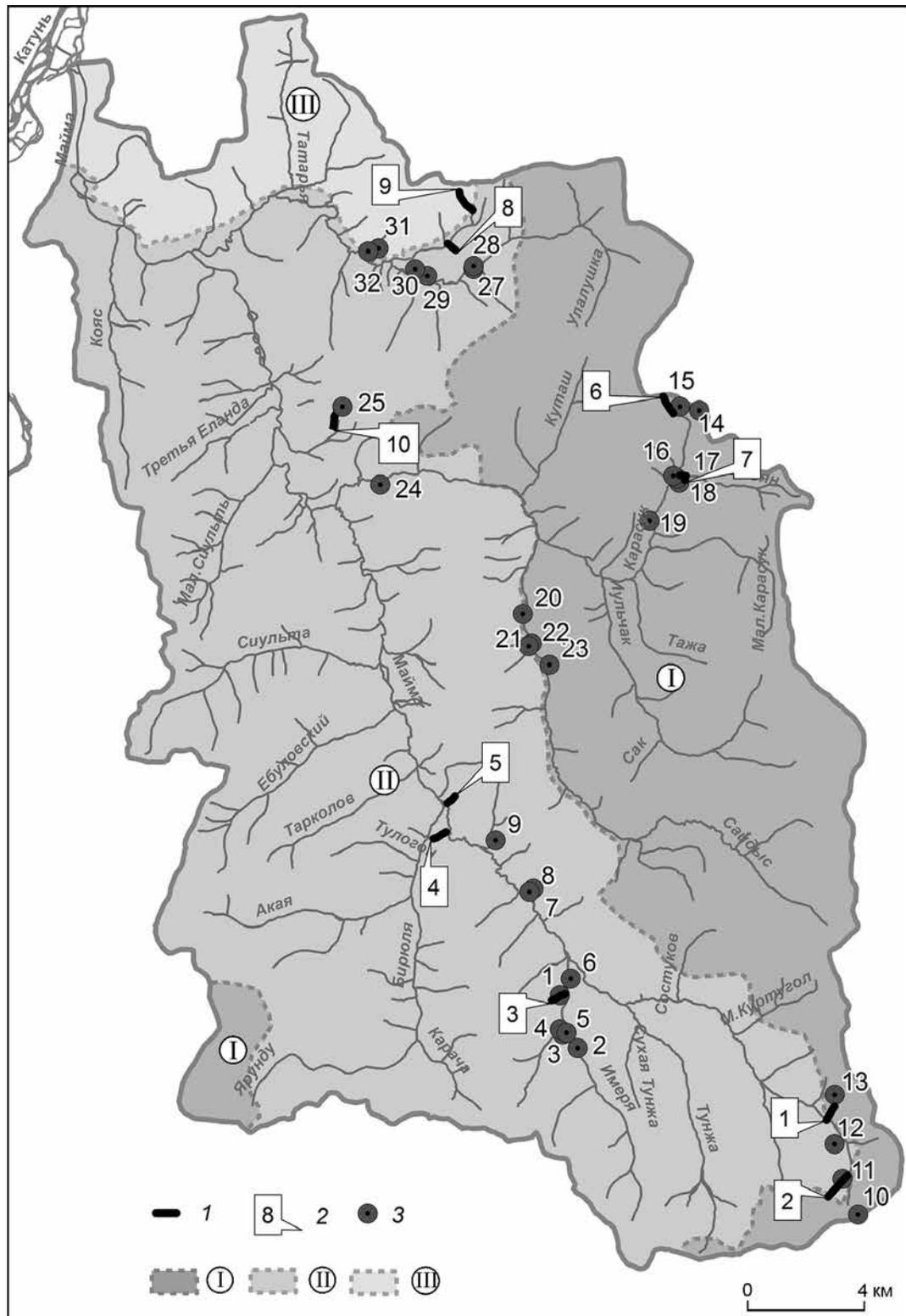


Рис. 1. Расположение снегомерных маршрутов и площадок в бассейне р. Майма
 1 – снегомерный маршрут; 2 – номер снегомерного маршрута; 3 – номер снегомерной площадки; I–III – подтипы ландшафтов: I – чернево-таёжные субнеморальные, II – подтаёжные, III – лесостепные барьерно-циклонические
Fig. 1. Location of snow courses and sites in the Maima river basin
 1 – snow course; 2 – number of snow course; 3 – number of snow site; I–III – subtypes of landscapes: I – chern-taiga subnemoral, II – subtaiga, III – steppe barrier-cyclonic

Таблица 1. Суммы осадков и средние месячные температуры воздуха по данным ГМС Кызыл-Озёк [14]

Зимний период	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	За весь период
<i>Количество осадков, мм</i>						
2014/15 г.	33,6	17,0	25,3	45,3	34,6	155,8
2015/16 г.	63,6	8,7	11,5	10,7	27,5	122,0
<i>Среднее многолетнее за 1985–2016 гг.</i>	45,8	32,9	21,5	23,0	28,1	151,3
<i>Средние месячные температуры, °С</i>						
2014/15 г.	–5,9	–11,9	–11,8	–10,0	–4,3	–8,8
2015/16 г.	–6,0	–5,3	–15,0	–7,5	–1,6	–7,1
<i>Среднее многолетнее за 1985–2016 гг.</i>	–6,1	–8,9	–14,0	–12,3	–5,3	–9,3

подтаёжных (386–586 м) и чернево-таёжных (518–1104 м). На основе полевых наблюдений рассчитывали плотность снега и снегозапасы, проводили статистическую обработку данных с расчётом среднеквадратичного отклонения σ , коэффициентов вариации C_v , стандартной ошибки средних значений толщины, плотности снежного покрова и снегозапасов.

Результаты и обсуждения

Метеоусловия зимних периодов 2014/15 и 2015/16 гг. по данным ГМС Кызыл-Озёк. По основным метеорологическим параметрам рассматриваемые зимние периоды достаточно контрастны (табл. 1, рис. 2). Зима 2014/15 г. характеризуется небольшим превышением осадков над средними многолетними значениями; в 2015/16 г. осадков было почти на 30 мм меньше средней многолетней величины. Ход осадков в течение рассматриваемых зимних периодов также отлично от среднего многолетнего хода. Для 2014/15 г. характерны максимальные суммы осадков в последние месяцы зимы вопреки основной тенденции наибольшего поступления осадков в ноябре–декабре [19]. В 2015/16 г. основные осадки выпадали в ноябре, в остальные

месяцы количество выпавших осадков было намного меньше средних многолетних значений.

Указанные особенности отразились на динамике снегонакопления (см. рис. 2) в течение зимнего периода. В 2015/16 г. толщина снежного покрова по постоянной рейке выросла до 21 см в ноябре и в дальнейшем увеличивалась в пределах 10 см, максимум снегонакопления наблюдался в конце февраля. В 2014/15 г. характер снегонакопления близок к среднему многолетнему ходу: толщина снежного покрова плавно увеличивается, достигая максимума в конце февраля – начале марта. По традиционным критериям [20], 2014/15 г. по средней за зимний период толщине снежного покрова относится к среднеснежным (на 16% превосходит среднее многолетнее), а 2015/16 г. – к малоснежным (меньше на 31%). По средним месячным температурам воздуха (см. табл. 1) исследуемые зимние периоды были тёплыми. За исключением декабря 2014 г. и января 2016 г., средние температуры воздуха за зимние месяцы превышали средние многолетние. В целом за зимний период 2014/15 г. температура воздуха была выше средней многолетней на 0,5 °С, а за 2015/16 г. – на 2,2 °С.

Особенности пространственной дифференциации основных характеристик снежного покрова на уровне подтипов ландшафтов. В табл. 2 при-

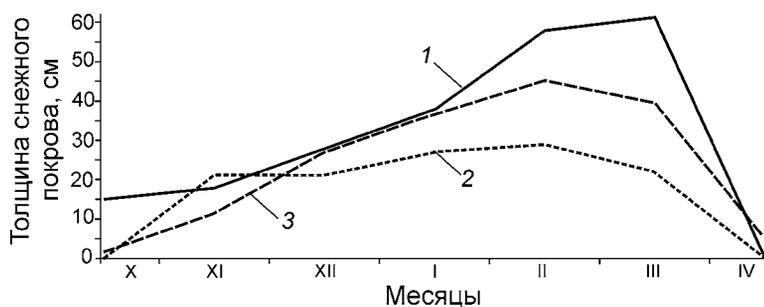


Рис. 2. Средняя месячная толщина снежного покрова по ГМС Кызыл-Озёк [14]: 1 – 2014/15 г.; 2 – 2015/16 г.; 3 – среднее многолетнее значение толщины снежного покрова (1985–2016 гг.)

Fig. 2. The average snow depth from Kyzyl-Ozek weather station [14] 1 – 2014/15; 2 – 2015/16; 3 – mean annual snow depth (1985–2016)

Таблица 2. Основные характеристики снежного покрова по подтипам ландшафтов в бассейне р. Майма в период максимального снегонакопления за 2014/15 г. (числитель) и 2015/16 г. (знаменатель) (данные приводятся со стандартной ошибкой среднего арифметического)

Подтипы ландшафтов	Толщина снежного покрова, см*	Плотность снежного покрова, г/см ³	Снегозапасы, мм
Чернево-таёжные субнеморальные	$\frac{74 \pm 1}{37 \pm 1}$	$\frac{0,18 \pm 0,005}{25 \pm 0,01}$	$\frac{128 \pm 5}{92 \pm 5}$
Подтаёжные	$\frac{59 \pm 3}{30 \pm 1}$	$\frac{0,17 \pm 0,01}{0,21 \pm 0,01}$	$\frac{103 \pm 13}{60 \pm 2}$
Лесостепные барьерно-циклонические	$\frac{66 \pm 2}{48^* \pm 2}$	$\frac{0,21 \pm 0,02}{0,19 \pm 0,02}$	$\frac{138 \pm 12}{85 \pm 11}$

* Средняя толщина свежего снега, выпавшего в период наблюдений, составляет 13–25 см.

ведены значения основных характеристик снежного покрова на уровне подтипов ландшафтов в соответствии с ландшафтной картой Русского Алтая [13]. Существенная разница в поступлении осадков обусловлена большей снежностью зимы 2014/15 г. по сравнению с зимой 2015/16 г. По всем высотным поясам толщина снежного покрова и снегозапасов в 2014/15 г. превышали соответствующие величины в 2015/16 г. Хорошо заметна также разница в снегонакоплении в разных подтипах ландшафтов. В оба исследуемых года разница в снегозапасах в лесостепных и чернево-таёжных подтипах незначительна (в пределах 10 мм), что близко к величине ошибки (см. табл. 2). Невелики различия и в толщине снежного покрова – до 10 см. В подтаёжных ландшафтах толщина снежного покрова и снегозапасы стабильно ниже, чем в пределах двух других подтипов ландшафтов.

Ранее отмечалось [21], что высотные градиенты снегозапасов неустойчивы по высотам и отдельным годам и зависят от характера выпадения осадков в начале зимнего периода, а также различий в интенсивности снеготаяния на разных высотных уровнях: градиенты снегозапасов в низкогорьях Западного Саяна изменяются от 17 до 47 мм на 100 м за два смежных года. В нашем случае разница в поступлении осадков на различных высотных уровнях незаметна на протяжении двух смежных зимних периодов. Значит, на величину снегонакопления в эти два года в большей степени влияли особенности ландшафтной структуры территории. В лесном поясе при усилении

антропогенной нагрузки ландшафт переходит в категорию разреженных лесов, лесные сообщества заменяются вторичными луговыми и т.п. Всё это приводит к пространственной неоднородности залегания снежного покрова в лесу. Вариации толщины снежного покрова в лесном поясе значительно выше, чем в лесостепной части, и колеблются от 23 до 41% в первый год исследований и в пределах 50–51% – во второй год, тогда как в лесостепи – от 16 до 31% (табл. 3).

Неоднородна в пространстве и плотность снега: за два рассматриваемых года она фактически диаметрально противоположна: в 2014/15 г. максимум плотности приходится на лесостепную часть бассейна, а в 2015/16 г., наоборот, самые высокие значения характерны для чернево-таёжных участков. Объясняется это разными метеоусловиями. Тёплое начало зимы 2015/16 г. и максимум осадков в этот период в сочетании с последующим резким их уменьшением, очевидно, способствовали активному испарению и таянию снега на открытых участках и в лиственных лесах. В условиях густого полога тёмнохвойных пород интенсивность снеготаяния меньше, а снежный покров уплотняется сильнее. Кроме того, в период наших наблюдений в лесостепи случился сильный снегопад и толщина свежевыпавшего снега при плотности не более 0,10 г/см³ составила от 13 до 25 см. До этого некоторые участки были полностью свободны от снега. В 2014/15 г. плотность снежного покрова в лесостепных ландшафтах была на 0,03–0,04 г/см³ выше.

В лесной части бассейна снежный покров уплотняется в основном под собственной тяжестью, и его плотность оказывается ниже, чем в лесостепной части, в большей мере подверженной воздействию ветров. Ранее для Алтая отмечалось увеличение плотности снега на открытых участках на 0,01–0,02 г/см³ по сравнению с защищёнными от ветра [22]. Общая плотность снега в рассматриваемом бассейне по сравнению со средне- и высокогорьем невелика и схожа с соответствующими значениями в низкогорьях Западного Саяна [21]. Невысокая плотность снега может быть связана и с низкой ветровой активностью. Индикаторы этого – в том числе и низкие коэффициенты вариации всех характеристик снежного покрова в лесостепной части бассейна, где ветер активно воздействует на перераспределение снега.

Таблица 3. Среднеквадратичное отклонение σ в единицах измеряемой величины (числитель) и коэффициенты вариации S_v в % (знаменатель) для наблюдений в бассейне р. Майма по подтипам ландшафтов

Подтипы ландшафтов	Толщина снежного покрова, см		Плотность снежного покрова, г/см ³		Снегозапасы, мм	
	2014/15 г.	2015/16 г.	2014/15 г.	2015/16 г.	2014/15 г.	2015/16 г.
Чернево-таёжные субнеморальные	17/23	19/51	0,03/20	0,06/25	32/25	42/45
Подтаёжные	24/41	15/50	0,05/30	0,07/34	66/64	25/42
Лесостепные барьерно-циклонические	10/16	15/31	0,05/25	0,05/25	36/26	14/17

На основе наблюдений за два смежных зимних сезона закономерности снегонакопления в зависимости от высотно-поясной структуры бассейна проявлены слабо. Небольшие величины снегозапасов и толщины снежного покрова в пределах подтаёжной части бассейна определяются, прежде всего, орографическими факторами. Поступающие на территорию бассейна осадки перехватываются находящимися на периферии низкогорными лесостепными участками и более возвышенными участками верховий бассейна, занятыми чернево-таёжными ландшафтами.

В оба года наблюдений и во всех подтипах ландшафтов значения снегозапасов были меньше суммы осадков за зимний период по данным ГМС Кызыл-Озёк. Различие между фактическими снегозапасами и фоновым осадконакоплением определяется разными факторами, связанными непосредственно с ландшафтными особенностями местоположения: это перехват снега кронами, усиление испарения на световых склонах, ветровой перенос и пр. Воздействие этих факторов происходит в условиях метеоусловий конкретного зимнего сезона. Так, в 2015/16 г. — значительно более тёплым по сравнению со средними многолетними значениями, разница между снегозапасами по группам ландшафтов и фоновым осадконакоплением составляла от 25 до 51%.

Пространственная изменчивость основных характеристик снежного покрова в зависимости от классов наземных покровов. Ландшафты, модифицированные человеком, существенно отличаются от природных по характеру снеготложения. Это хорошо видно на вырубках разных лет [23]. По дистанционным данным открытых геопорталов [24–27] мы охарактеризовали наземные покровы, отражающие современное состояние территории. Более подробная характеристика приводится в работе [16]. Анализ данных проведён по двум подтипам ландшафтов — чернево-таёжным и подтаёжным (табл. 4

Таблица 4. Основные характеристики снежного покрова в бассейне р. Майма по различным классам наземных покровов за 2014/15 г. (числитель) и 2015/16 г. (знаменатель) (данные приводятся со стандартной ошибкой среднего арифметического)

Наземный покров	Толщина снежного покрова, см	Плотность снежного покрова, г/см ³	Снегозапасы, мм
<i>Чернево-таёжные субнеморальные ландшафты</i>			
Пихтовые леса	$\frac{76 \pm 2}{26 \pm 2}$	$\frac{0,16 \pm 0,01}{0,28 \pm 0,01}$	$\frac{124 \pm 12}{82 \pm 8}$
Вторичные мелколиственные леса	$\frac{83 \pm 2}{37 \pm 1}$	$\frac{0,16 \pm 0,01}{0,21 \pm 0,01}$	$\frac{138 \pm 4}{75 \pm 6}$
Вторичные луга	$\frac{69 \pm 3}{42 \pm 3}$	$\frac{0,20 \pm 0,01}{0,26 \pm 0,03}$	$\frac{132 \pm 12}{107 \pm 12}$
<i>Подтаёжные ландшафты</i>			
Сосновые с берёзой, кедром и пихтой леса	$\frac{40 \pm 4}{40^* \pm 4}$	$\frac{0,16 \pm 0,01}{0,18 \pm 0,03}$	$\frac{63 \pm 18}{65 \pm 17}$
Вторичные луга	$\frac{59 \pm 4}{34^* \pm 1}$	$\frac{0,18 \pm 0,01}{0,20 \pm 0,01}$	$\frac{116 \pm 9}{68 \pm 4}$

*Средняя толщина свежего снега, выпавшего в период проведения наблюдений, составляет 17–25 см.

и 5). Эти ландшафты занимают наибольшую площадь в пределах бассейна, а антропогенные модификации в их пределах существенно отличаются по особенностям снегонакопления от фоновых условий, соответствующих коренным геосистемам. Наземные покровы можно условно разделить на два класса — лесные (пихтовые, вторичные мелколиственные, сосновые с участком берёзы и пихты) и луговые (вторичные луга, местами с древостоем). Самыми снежными среди рассматриваемых оказываются участки с преобладанием вторичных мелколиственных пород и открытые луговые пространства в пределах чернево-таёжного подтипа. На изменённых человеком участках снегозапасы и толщина снежного покрова, как правило, выше, чем под коренными пихтовыми лесами (максимально до 30% превышения по снегозапасам). Абсолютные

Таблица 5. Среднеквадратичное отклонение σ в единицах измеряемой величины (числитель) и коэффициент вариации C_v в % (знаменатель) для наблюдений в бассейне р. Майма в зависимости от классов наземных покровов

Наземный покров	Толщина снежного покрова, см		Плотность снежного покрова, г/см ³		Снегозапасы, мм	
	2014/15 г.	2015/16 г.	2014/15 г.	2015/16 г.	2014/15 г.	2015/16 г.
<i>Чернево-таёжные субнеморальные ландшафты</i>						
Пихтовые леса	12/16	15/58	0,02/15	0,0/19	38/30	36/44
Вторичные мелколиственные леса	10/12	8/22	0,02/9	0,04/18	11/8	16/22
Вторичные луга	23/33	24/56	0,04/18	0,08/32	39/29	38/36
<i>Подтаёжные ландшафты</i>						
Сосновые с берёзой, кедром и пихтой леса	18/45	19/32	0,03/19	0,01/6	36/57	19/16
Вторичные луга	14/36	11/33	0,06/36	0,06/32	34/52	21/31

значения толщины снежного покрова в пределах подтаёжной части заметно ниже по сравнению с чернево-таёжными ландшафтами.

Дифференциация по отдельным классам наземных покровов позволяет уточнить ряд особенностей снегонакопления. Например, обращает на себя внимание высокая плотность снега под пихтовыми лесами в 2015/16 г. по сравнению с таковой в 2014/15 г., а также с другими классами наземных покровов. В целом, по всем выделам снегозапасы в 2015/16 г. были меньше на 18–45% по сравнению с 2014/15 г. Минимальная разница снегозапасов (около 3%) отмечена в подтайге и в смешанных лесах с преобладанием сосны. Результаты двухлетних наблюдений показали, что, как правило, в ландшафтах, изменённых человеком, снега откладывается больше, чем в коренных геосистемах. Это происходит из-за уменьшения потерь на перехват снега кронами деревьев, так как антропогенная модификация ландшафтов проявляется здесь в сведении, разреживании или замене коренного хвойного древостоя лиственным.

Литература

1. Бойко Е.С., Погорелов А.В. Применение лазерного сканирования в исследованиях рельефа и снежного покрова. Морфометрический аспект. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. 147 с.
2. Игловская Н.В., Нарожный Ю.К. Определение снегозапасов Алтая с использованием спутниковой информации // Вестн. Томского гос. ун-та. 2010. № 334. С. 160–165.
3. Харук В.И., Ренсон К.Дж., Буренина Т.А., Онучин А.А., Федотова Е.В. Микроволновое зондирование как метод оценки снегозапасов в лесах

Выводы

В модельном бассейне р. Майма метеоусловия зимних периодов 2014/15 и 2015/16 гг. отличались как по абсолютным значениям метеопараметров, так и по их сезонному ходу. Зима 2014/15 г. относится к тёплым и среднеснежным, зима 2015/16 г. – к тёплым и малоснежным. Максимальные значения снегозапасов отмечены в пределах чернево-таёжных ландшафтов, однако разница с лесостепной частью бассейна не превышает 10 мм. Минимальные значения толщины снежного покрова и снегозапасов наблюдаются в подтаёжной части бассейна, что связано, вероятно, с влиянием орографических факторов и, в частности, с экспозицией склонов. Антропогенные изменения ландшафтов существенно изменяют условия снегонакопления относительно коренных (фоновых) геосистем. Самые большие снегозапасы наблюдаются во вторичных мелколиственных лесах и на лугах, они превышают значения снегозапасов под коренными пихтовыми лесами иногда на 30%.

References

1. Boyko E.S., Pogorelov A.V. *Primenenie lazernogo skanirovaniya v issledovaniyakh rel'efa i snezhnogo pokrova. Morfometricheskii aspekt.* Application of laser scanning in the research of relief and snow cover. Morphometric aspects. Novosibirsk: Academic Publishing House «Geo», 2012: 147 p. [In Russian].
2. Iglovskaya N.V., Narozhniy Yu.K. Estimation of snow storage in Altai using satellite information. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta.* Vestnik of Tomsk State University. 2010, 334: 160–165. [In Russian].
3. Kharuk V.I., Renson K.J., Burenina T.A., Onuchin A.A., Fedotova E.V. Microwave sensing as a method for as-

- Западного Саяна // География и прир. ресурсы. 1999. № 4. С. 85–90.
4. Dietz A.J., Conrad C., Kuenzer C., Gesell G., Dech S. Identifying changing snow cover characteristics in central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing data // *Remote Sensing*. 2014. V. 6. Is. 12. P. 12752–12775. doi: 10.3390/rs61212752.
 5. Li H.Y., He Y.Q., Hao X.H., Che T., Wang J., Huang X.D. Downscaling snow cover fraction data in mountainous regions based on simulated inhomogeneous snow ablation // *Remote Sensing*. 2015. V. 7. Is. 7. P. 8995–9019. doi: 10.3390/rs70708995.
 6. Hopkinson C., Collins T., Anderson A., Pomeroy J., Spooner I. Spatial snow depth assessment using LiDAR transect samples and public GIS data layers in the Elbow River Watershed, Alberta // *Canada Water Resource Journ.* 2012. V. 37. Is. 2. P. 69–87. doi: 10.4296/cwrj3702893.
 7. Дворников Ю.А., Хомутов А.В., Муллануров Д.Р., Ермохина К.А. Моделирование распределения водного эквивалента снежного покрова в тундре с использованием ГИС и данных полевой снегомерной съемки // *Лёд и Снег*. 2015. № 2 (130). С. 69–80. doi: 10.15356/2076-6734-2015-2-69-80.
 8. Elder K., Rosenthal W., Davis R.E. Estimating the spatial distribution of snow water equivalence in a montane watershed // *Hydrological Processes*. 1998. V. 12. P. 1793–1808. doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(199808/09)12.
 9. Wetlaufer K., Hendrikx J., Marshall L. Spatial heterogeneity of snow density and its influence on snow water equivalence estimates in a large mountainous basin // *Hydrology*. 2016. V. 3. Is. 1. P. 1–17. doi: 10.3390/hydrology3010003.
 10. Bühler Y., Marty M., Egli L., Veitinger J., Jonas T., Thee P., Ginzler C. Snow depth mapping in high-alpine catchments using digital photogrammetry. *Cryosphere*. 2015, 9 (1): 229–243. doi: 10.5194/tc-9-229-2015.
 11. Галахов В.П., Сяубаев А.А. Расчет объема стока первой волны половодья Оби у Барнаула. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2016. 122 с.
 12. Атлас Алтайского края. Т. 1. М. – Барнаул: ГУГК, 1978. 226 с.
 13. Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). М-б 1:500 000. Новосибирск, 2011.
 14. Электронный ресурс: Всерос. НИИ гидрометеорологической информации / Официальный сайт Всерос. НИИ гидрометеорологической информации. URL: <http://www.meteo.ru>
 15. Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне реки Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // *Мир науки, культуры и образования*. 2012. Т. 33. № 2. С. 360–369.
 - assessment of snow reserves in forests of Western Sayans. *Geografiya i prirodnye resursy*. Geography and Natural Resources. 1999, 4: 85–90. [In Russian].
 4. Dietz A.J., Conrad C., Kuenzer C., Gesell G., Dech S. Identifying changing snow cover characteristics in central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing data. *Remote Sensing*. 2014, 6 (12): 12752–12775. doi: 10.3390/rs61212752.
 5. Li H.Y., He Y.Q., Hao X.H., Che T., Wang J., Huang X.D. Downscaling snow cover fraction data in mountainous regions based on simulated inhomogeneous snow ablation. *Remote Sensing*. 2015, 7 (7): 8995–9019. doi: 10.3390/rs70708995.
 6. Hopkinson C., Collins T., Anderson A., Pomeroy J., Spooner I. Spatial snow depth assessment using LiDAR transect samples and public GIS data layers in the Elbow River Watershed, Alberta. *Canada Water Resource Journ.* 2012, 37 (2): 69–87. doi: 10.4296/cwrj3702893.
 7. Dvornikov Yu.A., Khomutov A.V., Mullanurov D.R., Ermokhina K.A. GIS- and field data based modeling of snow water equivalent in shrub tundra. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2015, 2 (130): 69–80. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2015-2-69-80.
 8. Elder K., Rosenthal W., Davis R.E. Estimating the spatial distribution of snow water equivalence in a montane watershed. *Hydrological Processes*. 1998, 12: 1793–1808. doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(199808/09)12.
 9. Wetlaufer K., Hendrikx J., Marshall L. Spatial heterogeneity of snow density and its influence on snow water equivalence estimates in a large mountainous basin. *Hydrology*. 2016, 3 (1): 1–17. doi: 10.3390/hydrology3010003.
 10. Bühler Y., Marty M., Egli L., Veitinger J., Jonas T., Thee P., Ginzler C. Snow depth mapping in high-alpine catchments using digital photogrammetry. *Cryosphere*. 2015, 9 (1): 229–243. doi: 10.5194/tc-9-229-2015.
 11. Galakhov V.P., Syubaev A.A. *Raschet ob'ema stoka pervoy volny polovod'ya Obi u Barnaula*. Flow volume calculation during the first wave of Ob flooding nearby Barnaul. Barnaul: ASU Publ., 2016: 122 p. [In Russian].
 12. *Atlas Altayskogo kraya*. Atlas of Altai Krai. V. 1. Moscow–Barnaul, 1978: 226 p. [In Russian].
 13. Chernykh D.V., Samoylova G.S. *Landshafty Altaya (Respublika Altay i Altayskiy kray)*. Altai landscapes (Republic of Altai and Altai Krai). Scale 1:500 000. Novosibirsk, 2011. [In Russian].
 14. Internet source: All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information. Official website: URL:<http://www.meteo.ru>
 15. Zolotov D.V., Lubenets L.F., Chernykh D.V. Landscape factors of runoff formation in the Maima basin (Northern and North-Eastern Altai). *Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya*. World of science, culture and education. 2012, 33 (2): 360–369. [In Russian].
 16. Lubenets L.F., Chernykh D.V. The role of anthropogenic transformations in landscape- hydrological organization of the Maima river basin. *Vestnik Volgogradskogo gosuniversiteta. Seriya 11. Estestvennye nauki*. Herald of Volgograd State University Ser. 11. Natural Sciences. 2015, 1: 61–67. [In Russian]. doi: 10.15688/jvolsu11.2015.1.6.

16. Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Роль антропогенных модификаций в ландшафтно-гидрологической организации бассейна р. Майма // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. 2015. № 1. С. 61–67. doi: 10.15688/jvolsu11.2015.1.6.
17. Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского эко-региона (методическое руководство). Красноярск, 2011. 64 с.
18. Руководство по снегомерным работам в горах. Л.: Гидрометеоздат, 1958. 148 с.
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Сер. 3: Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 718 с.
20. Галахов Н.Н. Выделение типов зим по высоте и динамике снежного покрова на большей части территории СССР // Роль снежного покрова в природных процессах. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 11–26.
21. Грудинин Г.В. Снежный покров юга Минусинской котловины. Новосибирск: Наука, 1981. 160 с.
22. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1977. 214 с.
23. Буренина Т.А., Шишкин А.С., Онучин А.А., Борисов А.Н. Снежный покров на вырубках разных лет в пихтово-кедровых лесах Енисейского края // Лесоведение. 2013. № 6. С. 26–36.
24. Электронный ресурс: <https://www.google.ru/maps/>
25. Электронный ресурс: <https://yandex.ru/maps/>
26. Электронный ресурс: <https://www.bing.com/maps>
27. Электронный ресурс: <http://gptl.ru/>
17. Bykov N.I., Popov E.S. *Nablyudeniya za dinamikoy snezhnogo pokrova v OOPT Altae-Sayanskogo ekoregiona (metodicheskoe rukovodstvo)*. Observations of snow cover dynamics in protected areas of the Altai-Sayan Ecoregion (methodical guide). Krasnoyarsk, 2011: 64 p. [In Russian].
18. *Rukovodstvo po snegomernym rabotam v gorakh*. Manual on snow-measuring works in the mountains. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1958: 148 p. [In Russian].
19. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3: Mnogoletnie dannye*. Scientific-applied handbook on the USSR climate. Ser. 3: Long-term data. P. 1–6. Is. 20. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1993: 718 p. [In Russian].
20. Galakhov N.N. Identification of winter types via snow cover height and dynamics in most parts of the USSR. *Rol' snezhnogo pokrova v prirodnyh processah*. Role of snow cover in natural processes. Moscow: Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1961: 11–26. [In Russian].
21. Grudinin G.V. *Snezhnyy pokrov yuga Minusinskoy kotloviny*. Snow cover in the south of the Minusinsk hollow. Novosibirsk: Nauka, 1981: 160 p. [In Russian].
22. Revyakin V.S., Kravtsova V.I. *Snezhnyy pokrov i laviny Altaya*. Snow cover and avalanches in Altai. Tomsk: TGU Publ., 1977: 214 p. [In Russian].
23. Burenina T.A., Shishkin A.S., Onuchin A.A., Borisov A.N. Snow cover on felled areas in fir-siberian pine forests of the Yenisey Ridge. *Lesovedenie*. Dendrology. 2013, 6: 26–36. [In Russian].
24. <https://www.google.ru/maps/>
25. <https://yandex.ru/maps/>
26. <https://www.bing.com/maps>
27. <http://gptl.ru/>