

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ

УДК 551.578.42

DOI: 10.31857/S2076673422030136, EDN: EPSZZG

Пространственная и временная изменчивость снежного покрова в южной лесостепи Верхней Оби

© 2022 г. Н.И. Быков*, Д.В. Черных, Д.К. Першин, Р.Ю. Бирюков, Л.Ф. Лубенец, Д.В. Золотов

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

*nikolai_bykov@mail.ru

Spatial and temporal variability of snow cover in the southern forest-steppe of the Upper Ob River

N.I. Bykov*, D.V. Chernykh, D.K. Pershin, R. Yu. Biryukov, L.F. Lubenets, D.V. Zolotov

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

*nikolai_bykov@mail.ru

Received October 7, 2021 / Revised April 27, 2022 / Accepted July 11, 2022

Keywords: *Upper Ob, southern forest-steppe, setting-up dates, destruction, stable snow cover duration, thickness and water content of snow cover.*

Summary

The study area is the forest-steppe in the Upper Ob basin located on the south of the West Siberian Plain. The results of studies of the dates of setting-up and loss of a stable snow cover and its duration are presented, the thickness of snow and snow storages for the period of maximum snow accumulation are analyzed. We used observational data obtained on routes and meteorological sites in 1966–2018 together with our own snow measurements of 2011–2019. It was found that in the southern forest-steppe, the duration of the stable snow cover presence decreases mainly as a result of its earlier destruction. At the same time, on the routes in a «field» the thickness of snow and snow storage increase due to growth of winter precipitation. But no such trend is observed on the routes in a «forest» which is explained by influence of its canopy density. The snow cover here is unevenly distributed over the territory because the drifted snow transport depends mainly on features of the vegetation cover and the terrain relief. The route snow surveys performed near weather stations do not reflect the entire landscape diversity of the territory.

Citation: Bykov N.I., Chernykh D.V., Pershin D.K., Biryukov R.Yu., Lubenets L.F., Zolotov D.V. Spatial and temporal variability of snow cover in the southern forest-steppe of the Upper Ob River. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2022, 62 (3): 343–359. [In Russian].
doi: 10.31857/S2076673422030136, edn: epszzg.

Поступила 7 октября 2021 г. / После доработки 27 апреля 2022 г. / Принята к печати 11 июля 2022 г.

Ключевые слова: *Верхнеобская провинция, южная степь, даты установления, разрушения и продолжительности устойчивого снежного покрова, толщина снега и снегозапасы.*

Проанализированы особенности сезонного снегонакопления за многолетний период. Установлены тенденции изменений характеристик снежного покрова с середины 1960-х годов и его пространственное распределение в зависимости от ландшафтов в пределах южной лесостепи Верхней Оби. Использованы данные государственных гидрометеостанций и собственных снегомерных работ 2011–2019 гг.

Введение

Снежный покров — важная составная часть ландшафтов и существенный фактор их функционирования. Его пространственно-временные характеристики в значительной мере определяются воздействием разных компонентов ландшафта, что неоднократно отмечалось спе-

циалистами (Нефедьева, Яшина, 1985; Хомаков, 1975). Некоторые факторы, в частности атмосферная циркуляция, определяют дифференциацию снежного покрова на больших пространствах. Влияние других факторов, например растительного покрова, территориально ограничено (Башлаков, 1980; Галахов, 1940; Грудинин, 1981; Рутковский, 1956; Шульгин, 1972). Изуче-

ние системных связей снежного покрова способствовало формированию целого направления в науке, которое получило название ландшафтное снеговедение (Рихтер и др., 1974). Вместе с тем в практике физико-географического районирования выделяют надландшафтные иерархические единицы зонального и азонального уровня (природные зоны, районы, провинции, страны), функционирование и динамика которых имеют свою специфику (Исаченко, 1991). Снеговедческие исследования наиболее часто проводят в самых крупных из них – природных зонах (в зональном ряду единиц физико-географического районирования) (Максютова, 2012) и физико-географических странах (в азональном ряду) (Китаев и др., 2010). На более низких региональных уровнях снежный покров изучается редко. Однако подобные исследования могут иметь не только теоретическое, но и прикладное значение при территориальном планировании административных образований или проектов хозяйственной направленности в сельском хозяйстве, в гражданском строительстве, на транспорте и др. (Шульгин, 1972).

Особенности снежного покрова данной территории изучали и ранее, но оно проходило в рамках административных границ (Харламова, Казарцева, 2018) на ландшафтном уровне (Черных и др., 2019) или на уровне отдельных элементов ландшафта (Серых, 1976; Вольнов и др., 2007). Как правило, они касались только толщины снежного покрова и его водозапаса (Вольнов и др., 2007; Серых, 1976; Харламова, Казарцева, 2018; Черных и др., 2019). Исследований снежного покрова на надландшафтном уровне при одновременном учёте ландшафтной структуры для данной территории до сих пор не было.

Необходимость сочетания в изучении снежного покрова ландшафтного и регионального подхода определила задачу настоящей работы – анализ пространственных и временных характеристик снежного покрова в пределах южной лесостепи Верхней Оби. Анализ включал в себя рассмотрение тенденций изменения дат установления и разрушения устойчивого снежного покрова, его продолжительности, толщины и водозапаса снежного покрова на период максимума снегонакопления, а также изменчивость характеристик в зависимости от ландшафтных особенностей территории.

Территория, материалы и методы исследований

Южная лесостепь в верхнем течении Оби на Западно-Сибирской равнине расположена на левобережье р. Обь и представляет собой вытянутую с севера на юг территорию длиной около 270 км и шириной около 100 км (рис. 1). Её площадь – 28 405 км² (Винокуров, Цималей, 2016). Здесь сочетаются возвышенные дренированные лесо-лугово-степные пологоувалистые лесовые плато с разнотравно-злаковыми луговыми степями, берёзовыми травяными колками и байрачными лесами (берёза, осина) с низменными дренированными лесными интра- и экстразональными дюнно-грядовыми перевеянными песчаными днищами древних ложбин стока с сосновыми остепнёнными и сосново-берёзовыми травяными лесами (Алтайский край..., 1978). Значительная часть территории южной лесостепи распахана и представляет собой сочетание полей с сельскохозяйственными культурами и разделяющих их полесозащитных лесополос. В пределах территории на среднемасштабной ландшафтной карте (Ландшафтная..., 2016) выделяются 17 типов местности. Территория исследования интересна по ряду причин.

Во-первых, положение её в зоне лесостепи, между экстремально влажными и экстремально сухими регионами, в условиях, когда величины осадков (300–400 мм) и испаряемости близки (индекс увлажнения Высоцкого–Иванова 0,64–1,01, гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова 0,85–1,01), предполагает чуткую реакцию водотоков на любые аномалии в режиме тепло- и влагообеспеченности водосборов в любую из фаз гидрологического года. Последнее особенно актуально, так как значительная часть годового стока лесостепных рек приходится на снеговое половодье. *Во-вторых*, рассматриваемая территория характеризуется типичным для южной половины Западно-Сибирской равнины строением: поверхности увалов повсеместно расчленены здесь широкими ложбинами древнего стока. В таких условиях примерно равное распространение получают зональные, интра- и экстразональные ландшафты. *В-третьих*, в условиях тотального дефицита гидрометеорологической информации южная лесостепь Верхнего Приобья относительно хо-

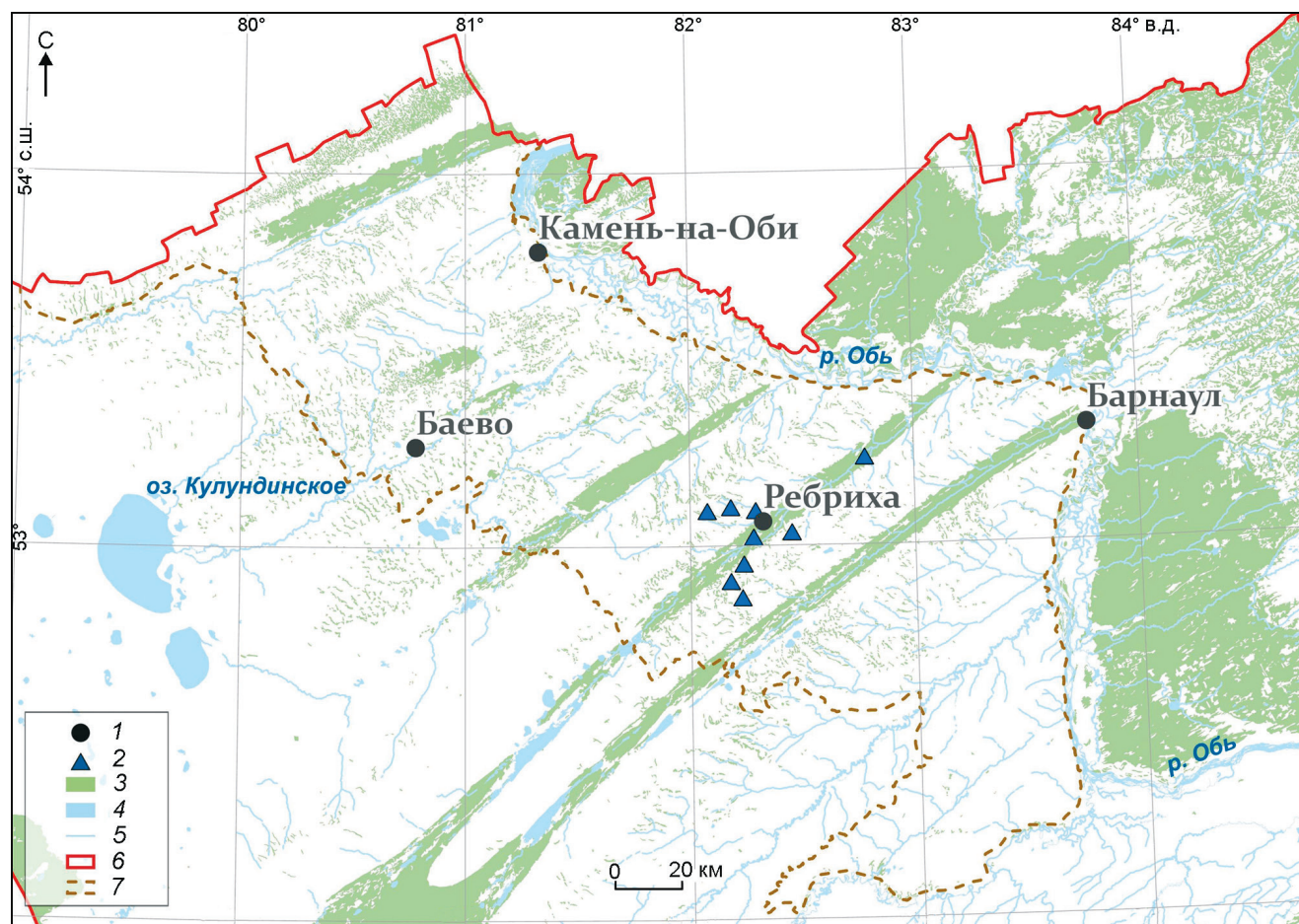


Рис. 1. Район исследований, расположение ГМС и снегомерных маршрутов.

1 – ГМС; 2 – собственные наблюдения на снегомерных маршрутах; 3 – леса; 4 – озёра; 5 – реки; 6 – административная граница Алтайского края; 7 – граница южной лесостепи

Fig. 1. Study area, location of weather stations and snow metering routes.

1 – meteorological station; 2 – own observations on snow metering routes; 3 – forests; 4 – lakes; 5 – rivers; 6 – the administrative boundary of the Altai Territory; 7 – border of southern forest-steppe

рошо обеспечена первичными данными, получаемыми с метеостанций и гидропостов. Это позволяет достаточно уверенно охарактеризовать региональные (провинциальные) условия гидротермического режима. *В-четвёртых*, территория, рассматриваемая в данной работе, – наиболее освоенная и заселённая в Алтайском крае. Относительно благоприятные условия увлажнения данной территории делают её одним из основных аграрных кластеров региона. Так, сумма температур выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 2000–2100 $^{\circ}\text{C}$, показатель континентальности Иванова – 215–220%, продолжительность вегетационного периода 125–130 дней, повторяемость засух за май–июнь на крайнем юго-востоке не более 20–30% (Винокуров, Цимбалей, 2016).

Для изучения тенденций многолетних изменений характеристик снежного покрова южной лесостепи мы использовали данные государственных гидрометеостанций (ГМС) и собственные наблюдения. Для анализа тенденций изменения толщины и водозапаса снежного покрова использовали материалы маршрутных снегомерных наблюдений на ГМС Камень-на-Оби (127 м над ур. моря; все высоты в статье даны над ур. моря), Баяво (121 м), Ребриха (218 м), Барнаул (183 м) за 1966–2018 гг. (Маршрутные..., 2020). ГМС Барнаул и Ребриха занимают пологие возвышенные участки Приобского плато с разнотравно-злаковыми и луговыми степями. ГМС Баяво расположена на низменной равнине в пределах террасы долины р. Кулунда с закуста-

ренными разнотравно-злаковыми лугами. ГМС Камень-на-Оби находится на низменной равнине в пределах террасы р. Обь, занятой разнотравно-злаковыми остепнёнными лугами. На всех перечисленных ГМС ведутся снегомерные маршрутные наблюдения в «поле». На ГМС Ребриха до 2014 г. также вели снегомерные наблюдения на маршруте в «лесу». Данные с метеоплощадок (ГМС Барнаул, Ребриха, Камень-на-Оби) использовали для расчёта продолжительности залегания устойчивого снежного покрова, а также дат его установления и разрушения.

Наблюдения на метеоплощадках и маршрутах метеостанций не отражают всего ландшафтного разнообразия территории, поскольку велись лишь в четырёх (до 2014 г. в пяти) из 17 типов её местностей. Поэтому исследования были дополнены собственными наблюдениями авторов в пределах шести типов местностей, в том числе четырёх дополнительных. Их проводили ландшафтно-маршрутным методом в период максимального снегозапаса (вторая декада марта) в 2011–2014 и 2017–2019 гг. Измерения вели на девяти постоянных профилях (см. рис. 1) длиной от 1 до 2,5 км каждый, которые выбирали с учётом типологических элементов ландшафтной структуры. Они охватили водораздельные и пологосклонные поверхности увалов (в тексте именуются как «основная поверхность»), занятые преимущественно пашней, берёзовые и осиновые колки, долинно-балочную сеть, сосновый бор в ложбине древнего стока и современную долину р. Касмала. Превышение водоразделов над урезом воды р. Касмала — около 100 м. Для определения снегозапасов использовали весовой снегомер ВС-43. Толщина снежного покрова определялась с точностью 1 см на маршрутах через каждые 20 м, а показания снегозапасов — через 200 м. Стандартная ошибка средней арифметической величины вычислялась как отношение величины среднеквадратического отклонения генеральной совокупности к квадратному корню числа измерений.

Результаты исследований и обсуждение

Внутриконтинентальное положение рассматриваемого региона определяет умеренно-континентальный тип климата с преобладанием западно-восточного переноса воздушных масс

(Харламова, 2013). Открытость территории с одной стороны арктическим воздушным массам со стороны Северного Ледовитого океана, а с другой — тропическим со стороны Средней Азии способствует контрастности погоды. В течение года здесь преобладает антициклональная циркуляция атмосферы, которая усиливается зимой за счёт действия Азиатского антициклона и ослабляется летом. В зимний период до 85% составляют западный, юго-западный и северо-западный антициклонические типы синоптических процессов. Вторжения холодных арктических континентальных воздушных масс не превышают 6–8%. При увеличении этих вторжений увеличивается суровость зим. Повторяемость циклонической деятельности в холодный период года равна 6–11%. В течение зимы провинцию пересекает 20–21 циклон с наибольшей их повторяемостью в ноябре–декабре и минимумом в феврале. Такие особенности атмосферной циркуляции определяют условия снегонакопления, трансформации и таяния снежного покрова (Харламова, 2013). За зимний период (ноябрь–март) на исследуемой территории выпадает от 89 мм (ГМС Камень-на-Оби) до 125 мм (ГМС Барнаул) осадков, том числе за последние 30 лет (1988–2018) — от 91 мм (ГМС Камень-на-Оби) до 130 мм (ГМС Барнаул).

Образование устойчивого снежного покрова.

Снежный покров считается устойчивым, если он лежит постоянно не менее одного месяца с перерывом не более трёх дней подряд. За дату образования устойчивого снежного покрова принимается первый день периода, когда площадь видимой окрестности ГМС покрыта снегом на 50% и более. Согласно использованной методике, устойчивый снежный покров на рассматриваемых ГМС (Барнаул, Ребриха, Камень-на-Оби) за 1966–2018 гг. в среднем формируется с 3 по 6 ноября. Даты установления устойчивого снежного покрова на территории южной лесостепи не имеют яркой связи с абсолютной высотой местности. Это показывает, что они контролируются, в первую очередь, циркуляцией атмосферы. Вариации данной даты при этом весьма широки — от 9 октября до 4 декабря на ГМС Барнаул, от 14 октября до 13 декабря на ГМС Ребриха, от 14 октября до 6 декабря на ГМС Камень-на-Оби (рис. 2). Многолетняя амплитуда дат установления устойчивого снежного

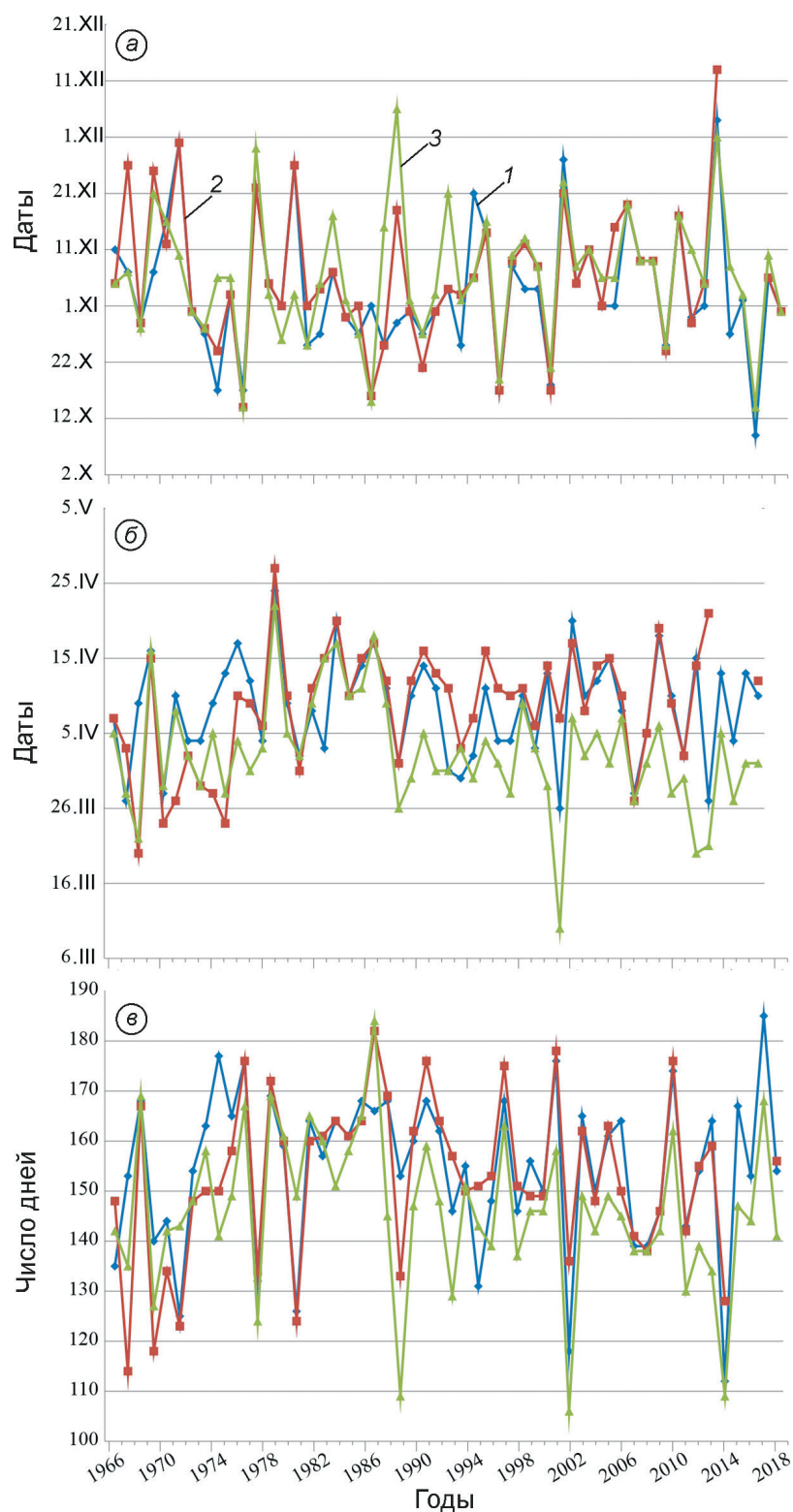


Рис. 2. Даты установления (а), разрушения (б) и продолжительности залегания (в) устойчивого снежного покрова в южной лесостепи в 1966–2018 гг. по данным ГМС:

1 – Барнаул; 2 – Ребриха; 3 – Камень-на-Оби

Fig. 2. Dates of establishment (a), destruction (b) and duration of occurrence (c) of stable snow cover in the southern forest-steppe in 1966–2018 according to data from weather stations:

1 – Barnaul; 2 – Rebrikha; 3 – Kamen-na-Obi

Таблица 1. Число случаев отклонений даты образования устойчивого снежного покрова от нормы за 1966–2018 гг. по данным ГМС

| Период, годы | Отклонение, число дней | | | | | | | среднее |
|--------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | 0–4 | 5–9 | 10–14 | 15–19 | 20–24 | 25–29 | 30–34 | |
| <i>ГМС Барнаул</i> | | | | | | | | |
| 1966–1975 | 4 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 8,8 |
| 1976–1985 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 9,6 |
| 1986–1995 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7,2 |
| 1996–2005 | 6 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 7,6 |
| 2006–2015 | 2 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 9,6 |
| Число случаев/% | 19/38 | 13/26 | 7/14 | 7/14 | 2/4 | 1/2 | 1/2 | |
| <i>ГМС Ребриха</i> | | | | | | | | |
| 1966–1975 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 10,9 |
| 1976–1985 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 8,5 |
| 1986–1995 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 8,5 |
| 1996–2005 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 8,6 |
| 2006–2015 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9,9 |
| Число случаев/% | 15/30 | 16/32 | 6/12 | 5/10 | 7/14 | 0/0 | 1/2 | |
| <i>ГМС Камень-на-Оби</i> | | | | | | | | |
| 1966–1975 | 5 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5,5 |
| 1976–1985 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10,1 |
| 1986–1995 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10,7 |
| 1996–2005 | 5 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 7,1 |
| 2006–2015 | 5 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7,8 |
| Число случаев/% | 23/46 | 7/14 | 10/20 | 5/10 | 3/6 | 1/2 | 1/2 | |

покрова составляла от 54 дней на ГМС Камень-на-Оби до 61 дня на ГМС Ребриха. На ГМС Ребриха и Камень-на-Оби наиболее часты отклонения до четырёх дней, а на ГМС Барнаул – пять–девять дней. На всех ГМС отклонения от 0 до 9 дней составляют от половины до 2/3 случаев, а отклонения от 0 до 14 дней – от 3/4 до 4/5 всех случаев отклонений (табл. 1). Отличия средних значений отклонений по десятилетиям невелики – от 2,4 дня на ГМС Ребриха до 3,6 на ГМС Камень-на-Оби.

В многолетнем разрезе отмечается достаточно высокая синхронность установления устойчивого снежного покрова по рассматриваемым ГМС – коэффициент корреляции от 0,64 между ГМС Барнаул и Камень-на-Оби и до 0,84 между ГМС Барнаул и Ребриха. За период 1966–2018 гг. на ГМС Барнаул установление устойчивого снежного покрова стало отмечаться на один день раньше, а на ГМС Камень-на-Оби и Ребриха – на два дня позже. Однако при детальном рассмотрении отмечается более позднее установление снежного покрова в начале

1970-х годов и начале XXI в. и более раннее – в середине 1980-х годов и во втором десятилетии XXI в. Отметим, что сама методика выделения дат установления устойчивого снежного покрова может вносить существенные различия между соседними ГМС. Например, в 1988 г. после установления снежного покрова на ГМС Барнаул 29 октября в течение месяца было только три дня с покрытием снегом менее 50%, что не изменило дату установления снежного покрова. В то же время на ГМС Камень-на-Оби снежный покров в 1988 г. установился 28 октября. Однако в ноябре было пять дней с площадью покрытия 40% и пять дней с площадью покрытия 30%, что сместило дату установления устойчивого снежного покрова на 6 декабря. Похожая ситуация на ГМС Ребриха привела к смещению даты установления устойчивого снежного покрова на 18 ноября. Установление устойчивого снежного покрова в наибольшей степени зависит от среднемесячных температур октября и ноября (табл. 2), при этом, чем выше местность над уровнем моря, тем эта связь теснее.

Таблица 2. Корреляционная связь дат установления, разрушения и продолжительности залегания* устойчивого снежного покрова со среднемесячными температурами воздуха на ГМС исследуемого региона за 1966–2018 гг.

| Показатели снежного покрова | Месяцы | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | I | II | III | IV | X | XI | XII | III–IV | X–XI |
| <i>ГМС Камень-на-Оби</i> | | | | | | | | | |
| Установление | – | | | | 0,38 | 0,48 | 0,24 | – | 0,52 |
| Разрушение | –0,13 | –0,25 | –0,58 | –0,46 | – | | | –0,68 | – |
| Продолжительность | –0,24 | –0,19 | –0,31 | –0,24 | –0,33 | –0,45 | –0,18 | –0,35 | –0,48 |
| <i>ГМС Барнаул</i> | | | | | | | | | |
| Установление | – | | | | 0,41 | 0,63 | 0,18 | – | 0,65 |
| Разрушение | –0,21 | –0,25 | –0,36 | –0,48 | – | | | –0,52 | – |
| Продолжительность | –0,10 | –0,19 | –0,16 | –0,30 | –0,35 | –0,51 | –0,16 | –0,28 | –0,53 |
| <i>ГМС Ребриха</i> | | | | | | | | | |
| Установление | – | | | | 0,42 | 0,51 | 0,24 | – | 0,57 |
| Разрушение | –0,13 | –0,07 | –0,24 | –0,47 | – | | | –0,43 | – |
| Продолжительность | –0,13 | –0,20 | –0,12 | –0,30 | –0,28 | –0,30 | –0,09 | –0,25 | –0,35 |

*При сравнении продолжительности залегания снежного покрова используются среднемесячные значения температуры воздуха октября, ноября и декабря предыдущего календарного года. Прочерк означает, что за данные месяцы анализ связи не проводился.

Разрушение устойчивого снежного покрова по средним многолетним данным происходит на ГМС Барнаул и Ребриха 8 апреля, а на ГМС Камень-на-Оби – 2 апреля. Это показывает, что чем выше местность над уровнем моря, тем данное явление наступает позже, несмотря на незначительные отличия абсолютной высоты местности (не более 100 м). Самое позднее разрушение отмечено в 1979 г.: на ГМС Барнаул – 24 апреля, Ребриха – 27 апреля, Камень-на-Оби – 22 апреля (см. рис. 2). Самое раннее разрушение наблюдалось на ГМС Барнаул (26 марта) и Камень-на-Оби (10 марта) в 2002 г., а на ГМС Ребриха – 20 марта 1968 г. Многолетняя амплитуда дат разрушения устойчивого снежного покрова составляла от 30 дней на ГМС Барнаул до 44 дней на ГМС Камень-на-Оби.

На ГМС Барнаул, Ребриха и Камень-на-Оби наиболее частые отклонения разрушения устойчивого снежного покрова от средней многолетней даты составляют до четырёх дней. На всех ГМС отклонения от 0 до 9 дней характерны примерно до 4/5 всех случаев отклонений (78–82%) (табл. 3). Таким образом, отклонения в датах разрушения устойчивого снежного покрова по сравнению с датами установления снежного покрова менее значительны. При этом в типах местностей с более низким положением над уровнем моря (ГМС Камень-на-Оби) доля

отклонений в 0–4 дней выше, чем у тех, которые занимают более высокое положение (ГМС Барнаул, Ребриха). И наоборот, у последних больше доля отклонений в пять–девять дней, чем у первых (см. табл. 3). Обобщённое по трём ГМС среднее число дней с отклонениями стабильно падало на протяжении четырёх десятилетий с начала наблюдаемого периода и лишь в последнее время (2006–2015 гг.) снова увеличилось. Однако изменение среднего показателя отклонений по десятилетиям крайне незначительно – максимум 2,5 дня.

Несмотря на то, что между рядами дат разрушения устойчивого снежного покрова по рассматриваемым ГМС в многолетнем разрезе отмечается синхронность (см. рис. 2), тем не менее, коэффициенты корреляции между ними невысокие (от 0,44 между ГМС Ребриха и Камень-на-Оби и до 0,58 между ГМС Барнаул и Камень-на-Оби). Вероятно, это связано с различием в снеготаянии и продолжительностью снеготаяния. Тенденции в рядах дат разрушения устойчивого снежного покрова также отличаются по ГМС. За период 1966–2018 гг. в ГМС Барнаул дата разрушения устойчивого снежного покрова остаётся стабильной, на ГМС Камень-на-Оби она стала отмечаться на восемь дней раньше, а на ГМС Ребриха – на десять дней позже. Такие различия, возможно, связаны с переносом ГМС и

Таблица 3. Число случаев отклонений даты разрушения устойчивого снежного покрова от нормы за 1966–2018 гг. по данным ГМС

| Период, годы | Отклонение, число дней | | | | | |
|--------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | 0–4 | 5–9 | 10–14 | 15–19 | 20–24 | среднее |
| <i>ГМС Барнаул</i> | | | | | | |
| 1966–1975 | 6 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4,9 |
| 1976–1985 | 5 | 3 | 1 | 1 | 0 | 5,9 |
| 1986–1995 | 3 | 7 | 0 | 0 | 0 | 5,9 |
| 1996–2005 | 6 | 2 | 2 | 0 | 0 | 5,4 |
| 2006–2015 | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 6,3 |
| Число случаев/% | 23/46 | 18/36 | 8/16 | 1/2 | 0/0 | |
| <i>ГМС Ребриха</i> | | | | | | |
| 1966–1975 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 10,9 |
| 1976–1985 | 6 | 2 | 1 | 1 | 0 | 5,2 |
| 1986–1995 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 4,9 |
| 1996–2005 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 3,6 |
| 2006–2015 | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 6,3 |
| Число случаев/% | 21/42 | 18/36 | 7/14 | 3/6 | 1/2 | |
| <i>ГМС Камень-на-Оби</i> | | | | | | |
| 1966–1975 | 3 | 5 | 2 | 0 | 0 | 5,7 |
| 1976–1985 | 5 | 2 | 2 | 1 | 0 | 6,5 |
| 1986–1995 | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 5,3 |
| 1996–2005 | 6 | 3 | 0 | 0 | 1 | 5,1 |
| 2006–2015 | 6 | 2 | 2 | 0 | 0 | 5,7 |
| Число случаев/% | 26/52 | 1/30 | 6/12 | 2/4 | 1/2 | |

изменением локальных условий снегонакопления на площадках. Так, в 1977 г. состоялся перенос ГМС Ребриха на 3 км. После этого на ней резко возросла толщина снежного покрова. В 1970 г. была перенесена на 8 км на запад ГМС Барнаул, но здесь изменения в снегонакоплении не были столь очевидны. ГМС Камень-на-Оби за анализируемый период переносили дважды: в 1983 г. на 15 км к западу и в 1989 г. на 10 км к востоку. Вместе с тем, если рассматривать ряды дат разрушения устойчивого снежного покрова с 1979 г., то все они демонстрируют тенденцию в сторону более раннего наступления данного фенологического явления: на ГМС Барнаул и Ребриха – на 3 дня, на ГМС Камень-на-Оби – на 16 дней (см. рис. 2). Главный фактор более раннего разрушения устойчивого снежного покрова – потепление климата (Попова, Полякова, 2013; Попова и др., 2018). При этом наибольшее влияние на смещение даты разрушения устойчивого снежного покрова на более ранние сроки оказывают температуры апреля и марта (см. табл. 2). Отметим, что на территориях с низкими

абсолютными отметками местности над уровнем моря более значимы температуры марта (ГМС Камень-на-Оби), а на более высоких (ГМС Барнаул, Ребриха) – апреля.

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова. Средняя многолетняя продолжительность залегания устойчивого снежного покрова за период наблюдений (1966–1918 гг.) на ГМС Барнаул составила 155 дней, на ГМС Ребриха – 153 дня, на ГМС Камень-на-Оби – 146 дней (см. рис. 2). Таким образом, продолжительность залегания снежного покрова в исследуемом районе также зависит от высоты расположения ГМС над уровнем моря. Особенно эта зависимость хорошо видна в период 1986–2015 гг. (табл. 4). От 2/3 до 3/4 числа зим имеют продолжительность от 141 до 170 дней (см. табл. 4). Самые короткие периоды отмечены на ГМС Камень-на-Оби в зиму 2001–2002 гг. (106 дней), на ГМС Барнаул в 2013–2014 гг. (112 дней), на ГМС Ребриха в 1967–1968 гг. (114 дней). Самые продолжительные периоды наблюдались на ГМС Барнаул зимой 2016/17 г.

Таблица 4. Число случаев продолжительности залегания устойчивого снежного покрова по десятилетиям за 1966–2018 гг. по данным ГМС

| Период, годы | Продолжительность, число дней | | | | | | | | | Средняя продолжительность, число дней |
|--------------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------------|
| | 101–110 | 111–120 | 121–130 | 131–140 | 141–150 | 151–160 | 161–170 | 171–180 | 181–190 | |
| <i>ГМС Барнаул</i> | | | | | | | | | | |
| 1966–1975 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | 151,9 |
| 1976–1985 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 5 | 1 | 0 | 157,3 |
| 1986–1995 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 5 | 0 | 0 | 157,7 |
| 1996–2005 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 3 | 1 | 0 | 153,8 |
| 2006–2015 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 150,2 |
| Число случаев/% | 0/0 | 1/2 | 2/4 | 6/12 | 8/16 | 10/2 | 18/38 | 4/8 | 0/0 | |
| <i>ГМС Ребриха</i> | | | | | | | | | | |
| 1966–1975 | 0 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 141,2 |
| 1976–1985 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 3 | 2 | 0 | 157 |
| 1986–1995 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 | 1 | 160,8 |
| 1996–2005 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 156,4 |
| 2006–2015 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | 150,3 |
| Число случаев/% | 0/0 | 2/4 | 3/6 | 5/10 | 12/24 | 10/20 | 11/22 | 6/12 | 1/2 | |
| <i>ГМС Камень-на-Оби</i> | | | | | | | | | | |
| 1966–1975 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | 2 | 1 | 0 | 0 | 145,8 |
| 1976–1985 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 4 | 0 | 0 | 155,3 |
| 1986–1995 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 0 | 1 | 148 |
| 1996–2005 | 1 | 0 | 0 | 2 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 143,5 |
| 2006–2015 | 1 | 0 | 1 | 4 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 138,4 |
| Число случаев/% | 2/4 | 1/2 | 4/8 | 7/14 | 19/38 | 8/16 | 8/16 | 0/0 | 1/2 | |

(185 дней), на ГМС Камень-на-Оби и Ребриха зимой 1986/87 г. – 184 и 182 дня соответственно. Между рядами продолжительности залегания устойчивого снежного покрова наблюдается высокая синхронность (коэффициент корреляции изменяется от 0,70 между рядами ГМС Барнаул и Камень-на-Оби до 0,77 между рядами ГМС Барнаул и Ребриха).

За наблюдаемый период продолжительность залегания снежного покрова в Барнауле практически не изменилась. На ГМС Ребриха она увеличилась на восемь дней, а на ГМС Камень-на-Оби уменьшилась на 13 дней. Однако если рассматривать ряды с 1979 г., то они демонстрируют схожую тенденцию. На всех ГМС продолжительность залегания снежного покрова уменьшается: на ГМС Барнаул – на шесть дней, Ребриха – на 14 дней и Камень-на-Оби – на 20 дней (см. рис. 2). Средняя за десятилетие продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в период 1986–2015 гг. сократилась на 7–10 дней (см. табл. 4). Значения продолжительности залегания снежного покрова имеют

более тесную связь с температурами октября и ноября, чем марта и апреля (см. табл. 2). Это объясняется тем, что даты разрушения снежного покрова весной обусловлены не только температурой воздуха, но и величиной снегозапасов.

Толщина снежного покрова. Метеоплощадки. За период 1966–2018 гг. среднемноголетняя максимальная толщина снежного покрова на метеоплощадках ГМС южной лесостепи варьирует от 34 до 65 см (рис. 3). Максимум отмечается на ГМС Ребриха, а минимум – на Камень-на-Оби. ГМС Барнаул занимает промежуточное положение – 52 см. Таким образом, отмечается рост максимальной толщины снежного покрова с увеличением абсолютной высоты местности. Максимальные значения толщины снежного покрова на ГМС Барнаул отмечены в 2011 г. – 86 см, Ребриха – в 2013 г. – 127 см, Камень-на-Оби – в 1966 г. – 102 см. Минимальные значения отмечены на ГМС Ребриха в 1974 г. – 8 см, а на ГМС Камень-на-Оби и Барнаул в 1968 г. – соответственно 9 и 24 см. Сравнительный анализ максимальных, минимальных и средних

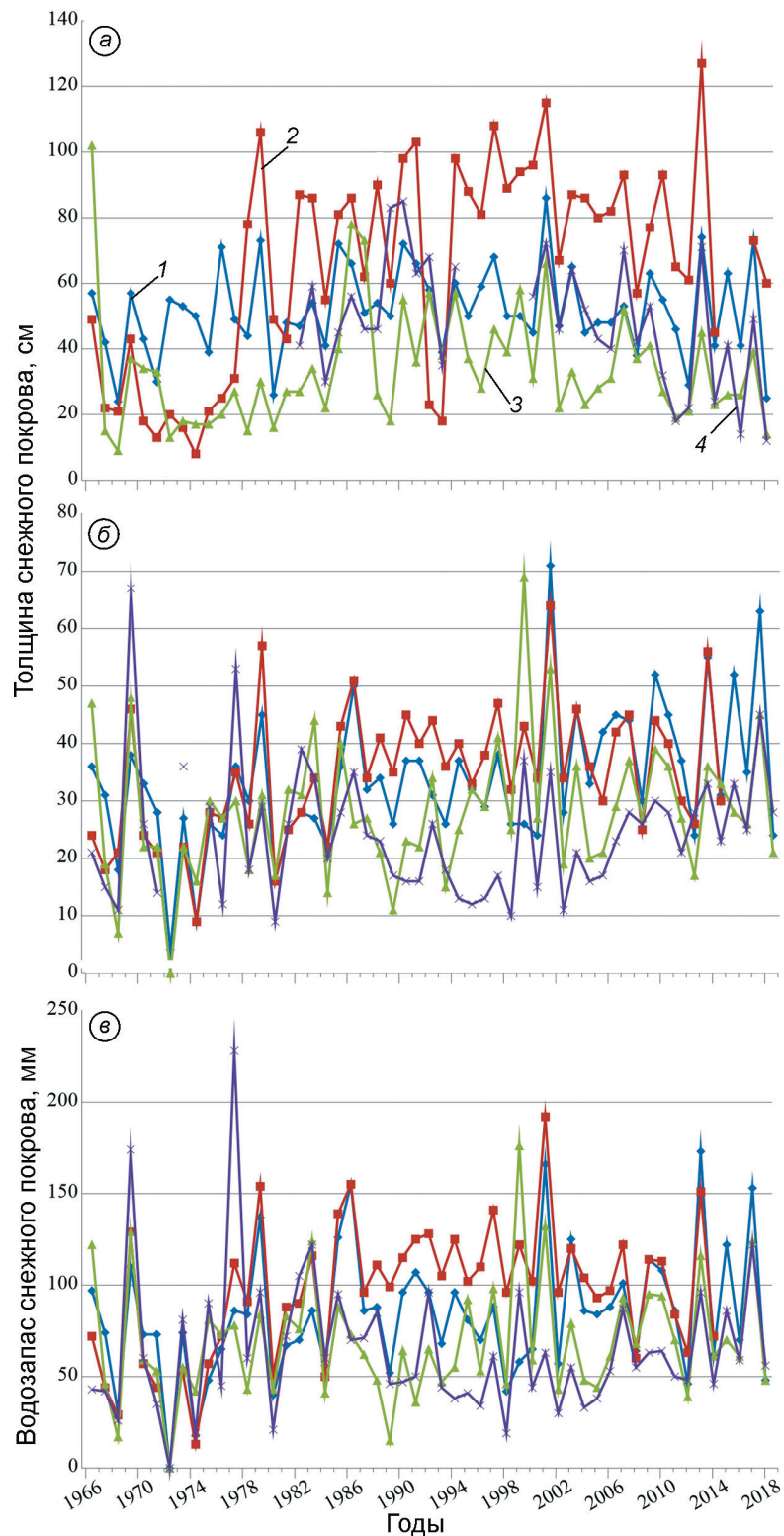


Рис. 3. Толщина снежного покрова на метеоплощадках (а) и маршрутах (поле) (б), водозапас снежного покрова на маршрутах (поле) (в) на период максимума по данным ГМС:
 1 – южной лесостепи Барнаул; 2 – Ребриха; 3 – Камень-на-Оби; 4 – Баево

Fig. 3. Thickness of snow cover on meteorological sites (a) and routes (field) (b), water reserve of snow cover on routes (field) (v) for the period of maximum according to the data of meteorological stations:
 1 – of the southern forest-steppe Barnaul; 2 – Rebrikha; 3 – Kamen-na-Obi; 4 – Baevo

Таблица 5. Корреляция сумм атмосферных осадков с максимальными значениями снежного покрова зимой за период 1966–2018 гг. (по ГМС Ребриха за 1966–2014 гг.).

| Положение | Показатель | Месяцы | | | | | |
|--------------------------|------------|--------|-------|-------|-------|------|--------|
| | | I | II | III | XI | XII | XI–III |
| <i>ГМС Камень-на-Оби</i> | | | | | | | |
| Метеоплощадка | Толщина | 0,17 | 0,31 | –0,09 | 0,27 | 0,32 | 0,43 |
| Маршрут, поле | | 0,16 | 0,31 | 0,08 | 0,47 | 0,33 | 0,59 |
| | Водозапас | 0,15 | 0,31 | 0,16 | 0,53 | 0,28 | 0,63 |
| <i>ГМС Барнаул</i> | | | | | | | |
| Метеоплощадка | Толщина | 0,23 | 0,26 | –0,22 | 0,31 | 0,45 | 0,51 |
| Маршрут, поле | | 0,19 | 0,09 | –0,22 | 0,51 | 0,55 | 0,59 |
| | Водозапас | 0,21 | 0,08 | –0,12 | 0,55 | 0,47 | 0,63 |
| <i>ГМС Ребриха</i> | | | | | | | |
| Метеоплощадка | Толщина | 0,04 | –0,16 | –0,03 | –0,03 | 0,32 | 0,01 |
| Маршрут, поле | | 0,25 | 0,08 | –0,05 | 0,15 | 0,45 | 0,32 |
| Маршрут, лес | | 0,36 | 0,33 | –0,07 | 0,23 | 0,56 | 0,56 |
| Маршрут, поле | Водозапас | 0,18 | 0,01 | –0,09 | 0,17 | 0,55 | 0,28 |
| Маршрут, лес | | 0,40 | 0,34 | –0,05 | 0,21 | 0,63 | 0,59 |

значений максимальной толщины снежного покрова за исследуемый период показал, что вариации значений в многолетнем плане более значительны на ГМС Камень-на-Оби и Ребриха (коэффициенты вариации равны соответственно 0,52 и 0,47), чем на ГМС Барнаул (0,26). Коэффициенты корреляции указанных рядов лучше между ГМС Барнаул и Ребриха (0,52) и меньше между ГМС Ребриха и Камень-на-Оби (0,35), что, вероятно, определяется сходством географических условий, прежде всего высотой над уровнем моря.

За исследованный период большинство ГМС демонстрируют тенденцию повышения максимальной толщины снежного покрова: ГМС Камень-на-Оби – с 33 до 35 см, Барнаул – с 50 до 54 см, Ребриха – с 36 до 97 см. В последнем случае это также, несомненно, связано с изменением местоположения ГМС в 1977 г. С 1978 г. на данной ГМС это значение резко возросло. На других ГМС, хотя они также в отмеченный период переносились, резких изменений не обнаружено. Если рассматривать ряды данных значений с 1978 г., то максимальная толщина на площадке ГМС Ребриха увеличилась всего на 3 см – с 77 до 80 см. В то же время на ГМС Барнаул, Камень-на-Оби и Баево с начала 1990-х годов отмечалась тенденция уменьшения данного значения – соответственно с 55 до 51 см, с 39 до 32 см и с 70 до 28 см (см. рис. 3).

Изменение толщины снежного покрова в течение зимы условно можно разбить на три фазы: снегонакопление, относительно стабильная толщина, снеготаяние. Три отмеченные фазы сохраняются и при малоснежных зимах, а также при средне- и многоснежных. Первая фаза длится полтора–два месяца и обычно заканчивается ко второй декаде декабря. Фаза относительно стабильной толщины снежного покрова длится 100–120 дней и заканчивается во второй половине марта, а в некоторых случаях – в первой декаде апреля. В это время толщина снежного покрова находится в относительно стабильном состоянии за счёт соотношения процессов осадконакопления, уплотнения снежной толщи и испарения с поверхности снежного покрова.

Продолжительность фазы снеготаяния – 2–3 недели. На ГМС Барнаул среднемноголетняя дата начала данной фазы – 25 марта (Харламова, 2013), а длительность составляет 13 дней. Первую фазу иногда можно разделить на две: начальную и интенсивного снегонакопления. В начальной фазе отмечается медленное увеличение толщины снежного покрова. Фаза интенсивного снегонакопления длится 5–7 дней. Обычно она наблюдается в конце ноября – начале декабря. Максимальная толщина снежного покрова на метеоплощадках показывает положительную связь прежде всего с суммами атмосферных осадков за ноябрь–март (табл. 5). Однако такой связи не от-

мечается на ГМС Ребриха, что, вероятно, связано с переносом ГМС и особенностями её положения. Наибольшее значение при этом имеют осадки ноября, декабря и февраля.

Толщина снежного покрова на маршрутах.

Средняя многолетняя толщина снежного покрова на маршрутах в поле изменяется от 25 до 35 см, максимальная за указанный период равна 64–71 см, а минимальная – 4–9 см (см. рис. 3). Значения среднемноголетней максимальной толщины снежного покрова плавно возрастают с увеличением абсолютной высоты местности. Максимальная толщина снежного покрова в поле отмечалась на ГМС Баево в 1969 г. – 67 см, Камень-на-Оби в 1999 г. – 69 см, а на ГМС Барнаул и Ребриха в 2001 г. – соответственно 71 и 64 см. Коэффициенты вариации многолетних рядов данного значения достаточно большие – 0,32–0,45. Чем выше уровень местности, тем ниже коэффициент вариации данного значения в многолетнем плане: ГМС Ребриха – 0,32, Барнаул – 0,36, Камень-на-Оби – 0,40, Баево – 0,45. Связь между рядами (коэффициент корреляции) изменяется в широких пределах – от 0,34 до 0,81. Отмечается зависимость тесноты связи рядов от расстояния между маршрутами: чем они ближе, тем выше коэффициент корреляции. Наиболее тесно связаны ряды по ГМС Барнаул и Ребриха.

За наблюдаемый период установлена тенденция повышения максимальной толщины снежного покрова на большинстве маршрутов в поле, хотя и с разной скоростью (см. рис. 3). Наибольшее увеличение значения отмечается на маршрутах ГМС Барнаул (20 см) и Ребриха (18 см) и в меньшей степени – Камень-на-Оби (8 см). Практически не изменилось значение на полевом маршруте ГМС Баево, т.е. в местностях, занимающих более высокое положение, увеличение толщины на маршрутах в поле заметнее. Главный фактор подобной тенденции увеличения максимальной толщины снежного покрова на указанных маршрутах – изменение количества атмосферных осадков в зимний период. Коэффициент корреляции между осадками за ноябрь–март с максимальной толщиной снежного покрова обычно составляет 0,56–0,59 (см. табл. 5).

Исключение даёт лишь полевой маршрут на ГМС Ребриха, где связь данных показателей демонстрирует низкие значения. При сравне-

нии с месячными суммами осадков наиболее тесную связь максимальная толщина снежного покрова показывает с осадками ноября и декабря, а на ГМС Ребриха – декабря и января. При этом связи между количеством зимних осадков и максимальной толщиной снежного покрова на маршрутах в поле выглядят более прочными, чем между зимними осадками и толщиной снежного покрова на метеоплощадках (см. табл. 5). Сравнение многолетних рядов максимальной толщины снежного покрова на метеоплощадках с аналогичными рядами на маршрутах в поле показало, что в полевые маршруты за исследованный период (1966–2018 гг.) скорость увеличения максимальной толщины снежного покрова выше, чем на метеоплощадках. Одна из возможных причин таких различий – изменение земледельческих технологий: в результате увеличения доли безотвальной вспашки увеличивается объём растительных остатков на полях. Такие явления были отмечены авторами при исследованиях снежного покрова в сухой степи (Быков и др., 2020). Однако в данном случае подтверждение подобного предположения требует дополнительных исследований.

Долгосрочные наблюдения на маршрутах в лесу на ГМС южной лесостепи имеются только на ГМС Ребриха. Среднее значение максимальной толщины снежного покрова за наблюдаемый период составляет здесь 56 см, что на 9 см меньше, чем на площадке ГМС, но на 21 см больше, чем на маршруте в поле. Между рядами по метеоплощадке и по маршруту в поле, а также между последним и рядом значений по маршруту в лесу отмечается тесная корреляционная связь – 0,7 и 0,69 соответственно. Тенденции увеличения или уменьшения толщины снежного покрова в лесу за наблюдаемый период не наблюдается. При одновременном увеличении зимних осадков и толщины снежного покрова в поле данное обстоятельство можно объяснить изменением таксационных показателей леса, прежде всего повышением сомкнутости крон в сосновом лесу.

Собственные наблюдения снежного покрова показывают, что его толщина значительно изменяется в зависимости от положения участка относительно типологических элементов ландшафта (табл. 6). Максимальная толщина снежного покрова отмечается в берёзовых и

Таблица 6. Средние значения толщины и водозапаса снежного покрова (со стандартной ошибкой среднего арифметического) на период максимума снеготаяния в основных ландшафтах в зимы 2010/11–2013/14 и 2016/17–2018/19 гг.

| Характеристика территории | Толщина снежного покрова, см | | | | | | | | | | Водозапас снежного покрова, мм | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|--|--|
| | 2010/11 | 2011/12 | 2012/13 | 2013/14 | 2016/17 | 2017/18 | 2018/19 | Среднее | 2010/11 | 2011/12 | 2012/13 | 2013/14 | 2016/17 | 2017/18 | 2018/19 | Среднее | | | | |
| Кулдунско-Касмалинский уезд, в том числе: | 37±0,5 | 31±0,5 | 69±2 | 33±1 | 71±2 | 31±1 | 48±1 | 45±0,6 | 71±8 | 57±3 | 198±13 | 96±14 | 192±17 | 59±7 | 105±5 | 115±6 | | | | |
| основная поверхность | 33±0,4 | 29±0,4 | 65±1 | 28±1 | 62±1 | 26±1 | 46±1 | 40±0,6 | 68±8 | 55±3 | 191±12 | 74±5 | 177±19 | 59±8 | 109±5 | 103±6 | | | | |
| долинно-балочная сеть | 48±2 | 37±1 | 77±4 | 44±2 | 82±4 | 36±2 | 53±2 | 53±1,3 | 69±16 | 68±8 | 209±29 | 128±36 | 208±30 | 67±17 | 92±7 | 131±13 | | | | |
| Касмалинско-Барнаульский уезд, в том числе: | 40±1 | 36±0,4 | 79±1 | 37±1 | 79±1 | 35±1 | 53±1 | 53±0,6 | 73±7 | 70±4 | 198±7 | 72±4 | 209±9 | 67±5 | 107±3 | 124±5 | | | | |
| основная поверхность | 35±1 | 34±0,4 | 72±1 | 30±1 | 73±1 | 33±1 | 54±1 | 47±0,6 | 66±7 | 71±3 | 190±9 | 66±4 | 210±10 | 65±4 | 103±5 | 110±7 | | | | |
| колки | 50±1 | 39±1 | 91±2 | 47±1 | 91±1 | 45±1 | 63±1 | 61±1 | 90±3 | 74±9 | 222±15 | 84±9 | 223±22 | 72±9 | 128±13 | 135±11 | | | | |
| долинно-балочная сеть | – | 35±1 | 81±4 | 48±4 | 87±4 | 42±1 | 60±2 | 57±2,6 | – | 55±6 | 155±8 | 61±9 | 150±49 | 66±1 | 95±15 | 101±14 | | | | |
| Днище ложбины древнего стока, в том числе: | 41±1 | 29±0,4 | 76±2 | 38±1 | 76±1 | 34±1 | 47±2 | 47±0,7 | 66±8 | 60±4 | 150±10 | 68±4 | 184±6 | 54±4 | 99±13 | 98±5 | | | | |
| сосновый бор | 42±1 | 29±0,4 | 84±1 | 40±1 | 79±1 | 37±0,7 | 51±0,8 | 51±0,8 | 58±10 | 62±3 | 163±10 | 67±2 | 188±6 | 59±4 | 99±7 | 103±6 | | | | |
| долина р. Касмала | 35±3 | 30±2 | 45±4 | 29±2 | 64±5 | 22±3 | 41±2 | 37±1,5 | 73±21 | 51±14 | 96±7 | 71±29 | 145±12 | 34±7 | 78±9 | 74±8 | | | | |
| <i>В целом по бассейну</i> | 36±0,4 | 31±0,3 | 72±1 | 33±1 | 70±1 | 34±2 | 52±0,5 | 45±0,3 | 66±5 | 61±2 | 184±6 | 75±5 | 188±7 | 60±3 | 102±3 | 108±1 | | | | |
| Постоянный снеговой маршрут | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ГМС Ребриха, поле | 30 | 25 | 56 | 30 | – | – | – | – | 84 | 63 | 151 | 72 | – | – | – | – | | | | |
| ГМС Ребриха, лес | 46 | 35 | 78 | – | – | – | – | – | 78 | 60 | 164 | – | – | – | – | – | | | | |
| ГМС Барнаул, поле | 37 | 24 | 55 | 31 | 63 | 24 | 33 | 38,1 | 86 | 46 | 173 | 62 | 153 | 48 | 83 | 83 | | | | |

*Прочерк – отсутствие данных.

осиновых колках. Главная причина этого заключается в том, что за счёт ослабления скорости воздушно-снежного потока снег аккумулируется здесь при любом направлении ветра. Большая толщина снежного покрова в сосновом бору по сравнению с открытыми пространствами «основной поверхности» также связана с тем, что ветровое воздействие на снежный покров здесь существенно меньше. На маршрутах основной поверхности коэффициент вариации толщины снежного покрова составляет 0,2–0,26, в бору – 0,15–0,17, в колках – 0,14, на дне долины р. Касмала с листовыми породами – 0,14, что также указывает на зависимость толщины снежного покрова от характера растительности.

В распределении толщины снежного покрова имеет значение и высота местности. На это указывают более высокие показатели толщины снежного покрова на основных поверхностях по сравнению с дном долины р. Касмала. Кроме того, важную роль в распределении снежного покрова играет расчленённость рельефа: в долинно-балочной сети толщина снежного покрова всегда выше по сравнению с основной поверхностью, что обусловлено метелевым переносом снега (см. табл. 6).

Запасы воды в снеге на маршрутах. Средний водозапас снежного покрова на маршрутах за наблюдаемый период варьирует от 121 мм (ГМС Ребриха, лес) до 64 мм (ГМС Баево, поле), при этом в поле – от 97 мм (ГМС Ребриха) до 64 мм (ГМС Баево) (см. рис. 3). Таким образом, обнаружена чёткая зависимость водозапаса снежного покрова на период

зимнего максимума от абсолютной высоты местности: возвышенные территории Приобского плато имеют на момент максимального снегонакопления бо́льший водозапас, чем северные, низменные территории южной лесостепи. Коэффициент снегонакопления (отношение снегозапасов в лесу к их значению в поле) составляет на ГМС Ребриха 1,25. Отмечается тенденция его уменьшения, что в целом характерно для юга Западно-Сибирской равнины (Сосновский и др., 2018). Максимальный водозапас снежного покрова отмечен на ГМС Баево в 1977 г. (228 мм), Ребриха в 2001 г. в поле (192 мм) и в 1978 г. в лесу (198 мм), Камень-на-Оби в 1999 г. (176 мм), Барнаул в 2013 г. (173 мм). Минимальный водозапас имел снежный покров в 1974 г. (ГМС Барнаул – 18 мм, Ребриха, поле – 13 мм, Ребриха, лес – 22 мм) и в 1989 г. (ГМС Камень-на-Оби – 15 мм). Теснота связи многолетних рядов изменяется от 0,37 до 0,81 (коэффициент корреляции), причём чем ближе расположены маршруты, тем теснее связь. Коэффициенты вариации многолетних рядов водозапаса снежного покрова на маршрутах изменяются от 0,31 (ГМС Ребриха, лес) до 0,56 (ГМС Баево, поле).

Во всех рядах, кроме ГМС Баево, отмечается тенденция увеличения водозапаса снежного покрова от 3 до 52 мм. На ГМС Баево за исследуемый период обнаружено уменьшение водозапаса на 14 мм (см. рис. 3). Многолетние изменения водозапаса снежного покрова обусловлены изменением количества осадков в зимний период. Самую высокую тесноту связи максимальные водозапасы снежного покрова имеют с суммами осадков за ноябрь–март (см. табл. 5). Значительно влияют на максимальное значение водозапаса снежного покрова за зиму осадки ноября и декабря, а для ГМС Ребриха – осадки декабря и января.

Результаты собственных маршрутных наблюдений показали, что в распределении водозапаса снежного покрова важную роль играют абсолютная высота местности, характер растительного покрова и расчленение рельефа. Так, на основной поверхности увалов водозапас снежного покрова всегда выше, чем на дне долины р. Касмала (максимальное превышение составляет 100 м) (см. табл. 6). В пределах основной поверхности увалов максимальный водозапас отмечается в колках, а в пределах днища ложбины древнего стока – в сосновом лесу, что свидетельствует о роли древес-

ной растительности в распределении снежного покрова. Также более высокие показатели водозапаса по сравнению с основной поверхностью увалов демонстрирует долинно-балочная сеть, что обусловлено метелевым переносом снега. К местам максимального водозапаса в исследуемом районе относятся колки Касмалинско-Барнаульского увала и долинно-балочная сеть Кулундинско-Касмалинского увала (см. табл. 6).

Выводы

Анализ характеристик снежного покрова на метеоплощадках и маршрутах в южной лесостепи показывает высокую синхронность его показателей на всей этой территории в указанный период. Очевидно, на региональном уровне действует единый фактор, определяющий пространственно-временные характеристики снежного покрова – атмосферные условия (циркуляционный, радиационный, термический режимы). Неравномерное распределение толщины и водозапаса снежного покрова здесь обусловлено характером подстилающей поверхности, сложной морфологической структурой ландшафтов южной лесостепи, сочетающей степные и лесные ландшафты, расположенные в пределах низменных и возвышенных равнин. Повышенными снегозапасами (на 20–30%) по сравнению с низменностями характеризуются возвышенные равнины. В оврагах и балках снегозапасы также на 20–30% больше, чем на поверхности увалов. Повышенными снегозапасами (на 30–50%) по сравнению с участками степной растительности отличаются территории, занятые древостоями (ленточные боры, берёзовые и осиновые колки).

В южной лесостепи за исследуемый период характерно увеличение толщины и водозапасов снежного покрова, что обусловлено увеличением зимних осадков. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова уменьшается преимущественно за счёт более раннего его разрушения, что определяется повышением температуры воздуха в марте и апреле. Более ранний сход снежного покрова неизбежно влечёт за собой и более раннее наступление весенних фаз, увеличивается продолжительность вегетационного периода и продуктивность дре-

весных и травянистых растений. Отмеченные тенденции характерны для степной и южной лесной зон Западной Сибири (Второй..., 2014).

Существующие маршрутные наблюдения на действующих метеостанциях не отражают морфологическую структуру ландшафтов южной лесостепи в Верхней Оби, поскольку в настоящее время они ведутся только в четырёх типах местностей (занимают около 40% территории южной лесостепи) из 17 выделенных. Не учитывается в распределении снежного покрова роль лесных участков (боров и колков) и долинно-балочной сети, что неизбежно вносит погрешности в водно-балансовые расчёты данной территории и её частей.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН № 0306-2021-0007

«Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг». Расчёты по бассейну Касмалы проведены с использованием базы данных снегомерных наблюдений, сформированной в рамках проекта РФФИ № 19-35-60006.

Acknowledgements. The work carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences RAS № 0306-2021-0007 «Natural and natural-economic systems of Siberia in the context of modern challenges: diagnostics of conditions, adaptive capabilities, potential of ecosystem services». Computations for the Kasmala catchment were made using the snow observation database created under RFBR project № 19-35-60006.

Литература

- Алтайский край. Атлас. В 2 томах. Т. 1. М.-Барнаул: Изд. ГУГК, 1978. 222 с.
- Башлаков Я.К. Распределение и перераспределение снега в лесной зоне Западной Сибири // Природные ресурсы и размещение производственных сил Тюменского Приобья. Тюмень: Тюменский гос. ун-т, 1980. С. 52–61.
- Быков Н.И., Рыгалов Е.В., Шигимага А.А., Бондарович А.А. Особенности распределения снежного покрова на сельскохозяйственных угодьях сухой степи (Алтайский край) // География и природопользование Сибири. 2020. Вып. 27. С. 63–72.
- Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М. Ландшафтная индикация в эколого-географических исследованиях. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2016. 258 с.
- Вольнов В.В., Бойко А.В., Сухарьков Е.А. Особенности распределения снежного покрова на сложных по рельефу водосборах Алтайского Приобья // Вестн. Алтайского гос. аграрного ун-та. 2007. № 8 (34). С. 22–25.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
- Галахов Н.Н. Снежный покров в лесу // Метеорология и гидрология. 1940. № 3. С. 3–17.
- Грудинин Г.В. Снежный покров юга Минусинской котловины. Новосибирск: Наука, 1981. 160 с.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 336 с.

References

- Altayskiy kray*. Altai region. Atlas In 2 v. V. 1. Moscow–Barnaul: Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1978: 222 p. [In Russian].
- Bashlakov Y.K. Distribution and redistribution of snow in the forest zone of Western Siberia. *Prirodnyye resursy i razmeshcheniye proizvodstvennykh sil Tyumenskogo Priob'ya*. Natural resources and deployment of production forces of the Tyumen Ob. Tyumen: Tyumen State University, 1980: 52–61. [In Russian].
- Bykov N.I., Rygalov E.V., Shigimaga A.A., Bondarovich A.A. Peculiarities of distribution of snow cover on agricultural lands of dry steppe (Altai Territory). *Geografiya i prirodopol'zovaniye Sibiri*. Geography and nature management of Siberia. Barnaul: Altai State University Publishing House, 2020, 27: 63–72. [In Russian].
- Vinokurov Yu.I., Tsimbali Yu.M. *Landshaftnaya indikatsiya v ekologo-geograficheskikh issledovaniyakh*. Landscape indication in ecological-geographical research. Novosibirsk: Academic publishing house «Geo», 2016: 258 p. [In Russian].
- Volnov V.V., Boyko A.V., Sukharkov E.A. Peculiarities of the distribution of snow cover on the catchments of the Altai Ob region with complex relief. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2007, 8 (34): 22–25. [In Russian].
- Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii*. The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Roshydromet, 2014: 1009 p. [In Russian].
- Galakhov N.N. Snow cover in the forest. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 1940, 3: 3–17. [In Russian].

- Китаев Л.М., Трофимова Л.Б., Комаровская Е.В., Данилович И.С., Бильдюг А.А. Многолетняя изменчивость осадков и формирование снежного покрова Восточно-Европейской равнины // Криосфера Земли. 2010. Т. XIV. № 3. С. 77–81.
- Ландшафтная карта Алтайского края [Карты] / Науч. ред. Ю.И. Винокуров; сост. Ю.И. Винокуров, Ю.М. Цимбалей; тех. ред. Л.Ф. Лубенец, С.В. Циликина, Н.Ю. Курепина. Масштаб 1:500 000. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2016. 2 л.
- Максютова Е.В. Характеристика снежного покрова лесостепи Предбайкалья // Лёд и Снег. 2012. № 1 (117). С. 54–61.
- Маршрутные снегомерные съемки. Режим доступа: <http://meteo.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
- Нефедьева Е.А., Яшина А.В. Роль снежного покрова в дифференциации ландшафтной сферы. М.: Наука, 1985. 144 с.
- Попова В.В., Полякова И.А. Изменение сроков разрушения устойчивого снежного покрова на севере Евразии в 1936–2008 гг.: влияние глобального потепления и роль крупномасштабной атмосферной циркуляции // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 29–40.
- Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950–2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 4. С. 65–75.
- Рихтер Г.Д., Котляков В.М., Нефедьева Е.А. Ландшафтное снеговедение: современное состояние, задачи и перспективы // МГИ. 1974. Вып. 24. С. 192–196.
- Рутковский В.И. Влияние лесов на накопление и таяние снега // Снег и талые воды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 184–205.
- Серых Г.И. Снег и его распределение по видам угодий в Приобской лесостепи Алтайского края // Тр. Зап.-Сиб. РНИГМИ. 1976. Вып. 23. С. 72–78.
- Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // Лёд и Снег. 2018. Т. 58. № 2. С. 183–190.
- Харламова Н. Ф. Климат Алтайского региона. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2013. 108 с.
- Харламова Н.Ф., Казарцева О.С. Закономерности распределения снежного покрова на территории Алтайского края в условиях орографических барьеров // Бюлл. науки и практики. Электронный журнал. 2018. Т. 4. № 1. С. 113–118. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kharlamovakazartseva> (дата обращения 15.01.2018).
- Харламова Н.Ф., Казарцева О.С. Оценка основных характеристик снежного покрова на террито-
- Grudin G.V. Snezhnyy pokrov yuga Minusinskoy kotloviny. Snow cover in the south of the Minusinsk depression. Novosibirsk: Nauka, 1981: 160 p. [In Russian].
- Isachenko A.G. Landshaftovedeniye i fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye. Landscape studies and physical-geographical zoning. Moscow: Vysshaya shkola, 1991: 336 p. [In Russian].
- Kitaev L.M., Trofimova L.B., Komarovskaya E.V., Danilovich I.S., Bilyug A.A. Long-term variability of precipitation and the formation of snow cover of the East European Plain. *Kriosfera Zemli*. Earth's Cryosphere. 2010, XIV (3): 77–81. [In Russian].
- Landshaftnaya karta Altayskogo kraya [Karty]. Landscape map of the Altai Territory [Maps]. Scientific editor Yu.I. Vinokurov; compilers Yu.I. Vinokurov, Yu.M. Cymbals; technical editors L.F. Lubenets, S.V. Tsilikin, N.Yu. Kurepina. Scale 1:500 000. Barnaul: IWEP SO RAN, 2016: 2 p. [In Russian].
- Maksyutova E.V. Characteristics of the snow cover of the forest-steppe of the Cis-Baikal region. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2012, 1 (117): 54–61. [In Russian].
- Marshrutnyye snegomernyye s'yemki. Route snow surveying. Access mode: <http://meteo.ru> (date of access: 20.05.2020). [In Russian].
- Nefedieva E.A., Yashina A.V. Rol' snezhnogo pokrova v differentsiatsii landshaftnoy sfery. The role of snow cover in the differentiation of the landscape sphere. Moscow: Nauka, 1985: 144 p. [In Russian].
- Popova V.V., Polyakova I.A. Changes in the timing of destruction of stable snow cover in northern Eurasia in 1936–2008: the impact of global warming and the role of large-scale atmospheric circulation. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2013, 2 (122): 29–40. [In Russian].
- Popova V.V., Shiryayeva A.V., Morozova P.A. Changes in the characteristics of snow cover on the territory of Russia in 1950–2013: regional features and connection with global warming. *Kriosfera Zemli*. Earth's Cryosphere. 2018, XXII (4): 65–75. [In Russian].
- Richter G.D., Kotlyakov V.M., Nefedieva E.A. Landscape snow science: (Current state, tasks and prospects). *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1974, 24: 192–196. [In Russian].
- Rutkovskiy V.I. The influence of forests on the accumulation and melting of snow. *Sneg i talyye vody*. Snow and melt water. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1956: 184–205. [In Russian].
- Serykh G.I. Snow and its distribution by type of land in the Priobsk forest-steppe of the Altai Territory. *Trudy Zapadno-Sibirskogo Gidrometeorologicheskogo instituta*. Proceedings of the West Siberian Hydrometeorological Institute. 1976, 23: 72–78. [In Russian].
- Sosnovskiy A.V., Osokin N.I., Chernyakov G.A. Dynamics of snow reserves on the flat territory of Russia in the forest and in the field under climatic changes. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2018, 58 (2): 183–190. [In Russian].
- Kharlamova N. F. *Klimat Altayskogo regiona*. Climate of the Altai region. Barnaul: Altai State University Publishing House, 2013: 108 p. [In Russian].
- Kharlamova N.F., Kazartseva O.F. Regularities distribution of the snow cover in the Altai territory in the conditions of orographic barriers. *Byulleten' nauki i praktiki*. Bulletin of Science and Practice. 2018, 4 (1): 113–118. [In Russian].

- рии Алтайского края с применением ландшафтно-индикационных методов // Бюлл. науки и практики. Электронный журнал. 2018. Т. 4. № 1. С. 125–131. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kazartseva-kharlamova> (дата обращения 15.01.2018).
- Ходаков В.Г.* Роль снежного покрова в природе ландшафтов Севера и его физические свойства // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1975. № 1. С. 17–26.
- Черных Д.В., Золотов Д.В., Першин Д.К., Бирюков Р.Ю.* Пространственно-временная дифференциация снежного покрова в бассейне р. Касмалы (Алтайский край) // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 4. С. 359–369.
- Шульгин А.М.* Мелиоративная география (физико-географические основы мелиорации в СССР). М.: Высшая школа, 1972. 214 с.
- Kharlamova N.F., Kazartseva O.F.* Assessment of the main characteristics of the snow cover in the Altai territory with the use of landscape-indicator methods. *Byulleten' nauki i praktiki*. Bulletin of Science and Practice. 2018, 4 (1): 125–131. [In Russian]. <http://www.bulletennauki.com/kazartseva-kharlamova>.
- Khodakov V.G.* The role of snow cover in the nature of landscapes of the North and its physical properties. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Ser. geogr.* Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geog. 1975, 1: 17–26. [In Russian].
- Chernykh D.V., Zolotov D.V., Pershin D.K., Biryukov R.Y.* Space and time differentiation of snow cover in the Kasmala river basin, Altai krai. *Water Resources*. 2019, 46 (4): 504–514. doi:10.1134/S0097807819040067.
- Shulgin A.M.* *Meliorativnaya geografiya (fiziko-geograficheskiye osnovy melioratsii v SSSR)*. Reclamation geography (physical and geographical foundations of reclamation in the USSR). Moscow: Vysshaya shkola, 1972: 214 p. [In Russian].