

Л.Ф. Лубенец¹, Д.В. Черных^{1,2}, Д.К. Першин^{1,3}, А.А. Сабеев^{1,4}

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул (Россия)

²Алтайский государственный университет, г. Барнаул (Россия)

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва (Россия)

⁴Тигирекский государственный заповедник, г. Барнаул (Россия)

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗАЛЕГАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В СНЕГОВОЕ ПОЛОВОДЬЕ В БАССЕЙНЕ Р. МАЙМА НА ОСНОВЕ СТАЦИОНАРНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ

Аннотация. Анализ продолжительности залегания снежного покрова в низкогорном бассейне р. Майма (Русский Алтай) основан на суточных данных метеостанции Кызыл-Озёк (1940–2020 гг.; температуры воздуха, суммы осадков, параметры снежного покрова) и спутниковых данных Sentinel-2 (2018–2020 гг.). За период наблюдений на метеостанции проведен анализ динамики даты схода снежного покрова в период весеннего снеготаяния и основных метеопараметров зимы, предшествующей снеговому половодью 2018–2020 гг. Сход снежного покрова в бассейне в значительной мере определяются погодными условиями в период снегового половодья и наблюдается чаще всего в середине–конце апреля. Разница в дате схода снежного покрова по данным метеостанции и дистанционным данным Sentinel-2 в 2018–2020 гг. составляла от 3 до 8 суток. Анализ дистанционных данных указывает на определенную зависимость уменьшения покрытой снегом площади от высотного градиента. Наиболее поздние сроки схода снежного покрова свойственны наиболее возвышенным участкам бассейна с преобладаем чернево-таежных ландшафтов. В пределах более низкого высотного пояса, расположенного на некотором удалении от гребня орографического барьера с господством подтаежных ландшафтов, процессы таяния снега протекают активнее по сравнению с чернево-таежными ландшафтами. Наиболее ранние сроки схода снежного покрова характерны для самой низкой лесостепной части бассейна р. Майма.

Ключевые слова: Алтай, низкогорный бассейн р. Майма, снеговое половодье, снежный покров.

L.F. Lubenets¹, D.V. Chernykh^{1,2}, D.K. Pershin^{1,3}, A.A. Sabaev^{1,4}

¹Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul (Russia)

²Altai State University, Barnaul (Russia)

³Lomonosov Moscow State University, Moscow (Russia)

⁴State nature reserve «Tigirekskiy», Barnaul (Russia)

ESTIMATION OF THE SNOW COVER DURATION DURING SNOW FLOODS IN THE MAIMA RIVER BASIN BASED ON STATION AND REMOTE SENSING DATA

Abstract. Analysis of the snow cover duration in the low mountain Maima River basin (Russian Altai) was based on the Kyzyl-Ozyok climate station daily data (1940-2020; air temperature, precipitation, snow parameters) and Sentinel-2 satellite data (2018-2020). Along the observation period at the climate station, we analyzed the dynamics of the snowmelt date and the main weather parameters of the melting periods 2018-2020. The melting of snow is largely determined by weather conditions during the snowmelt period and was most often observed in mid to late April. The difference in the snowmelt date according to the climate station data and Sentinel-2 remote sensing data in 2018-2020 ranged from 3 to 8 days. The analysis of the remote sensing data indicated a certain dependence of the decrease in the snow cover area on the altitude gradient. The latest dates of

snowmelt observed in the most elevated parts of the basin with predominantly black taiga landscapes. Within the lower altitude-belt level, located at some distance from the orographic barrier and dominated by sub-thaw landscapes, snowmelt processes were more active as compared to the black taiga landscapes. The earliest dates of snow cover melt were observed within the lowest forest-steppe part of the Maima River basin.

Keywords: Altai, low-mountain, Maima river basin, snowmelt-runoff, snow cover.

Введение

Оценка распределения и продолжительности залегания снежного покрова имеет важное теоретическое и практическое значение. Снежный покров является регулятором гидрологических процессов, определяя их направленность в первую очередь в снеговое половодье [3-4; 10-11; 13; 17].

Количественная оценка продолжительности залегания снежного покрова в горных водосборах – достаточно трудоемкий процесс и зависит от наличия исходной инструментальной информации. Зачастую в пределах бассейна располагается одна метеостанция, точечных данных с которой недостаточно для корректного анализа протекания гидрологических процессов в пределах всего водосбора. Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет получить пространственную характеристику снегонакопления, определить сроки схода снега в период снеготаяния в разных частях бассейна [14; 18-22].

Цель исследования – установить сроки схода снежного покрова в период снегового половодья на разных высотно-поясных уровнях бассейна р. Майма с использованием стационарных и дистанционных данных.

Задачи исследования:

- 1) проанализировать динамику схода снежного покрова за период наблюдений (1940–2020 гг.) на метеостанции Кызыл-Озёк (нижнее течение р. Майма);
- 2) оценить изменчивость основных метеопараметров холодного периода, предшествующему снеговому половодью 2018–2020 гг.;
- 3) проанализировать динамику схода снежного покрова на разных высотно-поясных уровнях бассейна р. Майма с использованием данных спутника Sentinel-2 (2018–2020 гг.);
- 4) оценить зависимость между метеопараметрами и динамикой периода снеготаяния в снеговое половодье на разных высотно-поясных уровнях бассейна р. Майма (2018–2020 гг.).

Территория исследования

Река Майма является притоком второго порядка р. Обь и правым притоком первого порядка р. Катунь. Бассейн р. Майма находится на территории республики Алтай в низкогорной части Русского Алтая на северном окончании хребта Иолго [2]. Длина реки – 57 км, средний уклон – 10‰. Абсолютные высоты бассейна изменяются от 260 до 1140 м, средняя высота – 670 м. Площадь водосбора – 780 км².

Бассейн р. Майма расположен, преимущественно, в горно-лесном поясе: по площади преобладают чернево-таёжные субнеморальные (31,9% общей площади; диапазон высот 518–1104 м) и подтаёжные (62%; 386–586 м) ландшафты. Незначительную площадь в пределах бассейна занимают лесостепные ландшафты (6,1%; 327–577 м) [6]. Ландшафтная структура бассейна является типичной для северной периферии Алтая. Спецификой бассейна является то, что его территория является наиболее освоенной и заселенной частью Республики Алтай. Кроме этого, в бассейне имеется метеостанция, расположенная в с. Кызыл-Озёк (наблюдения с 1940 г.), абсолютная высота 324 м, и гидрологический пост в с. Майма (наблюдения с 1939 г.), абсолютная высота нуля графика 251,98 м. Средняя годовая температура воздуха составляет +1,0°C, средняя годовая сумма осадков – 795 мм [7].

Материалы и методы исследования

Термины и понятия, используемые в исследовании. В исследовании, с учетом анализа метеоусловий в период прохождения снегового половодья в низкогорной части бассейна Верхней Оби, авторами приняты понятия: «холодный период», «снеговое половодье», «волна тепла», «волна холода».

Под «холодным периодом» понимается период, когда осадки выпадают на земную поверхность в твердой фазе и отсутствует поверхностный сток на водосборе. При определении дат начала и окончания периода использовали следующие характеристики: 1) устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C ; 2) наличие атмосферных осадков, их состояние в зависимости от температуры воздуха; 3) степень покрытия снежным покровом местности (значимая степень покрытия 4-5 баллов [9]). В общем случае, началом холодного периода следует считать дату перехода среднесуточной температуры воздуха ниже 0°C . Характеристикой, уточняющей дату начала, является наличие осадков в твердой фазе (что подтверждается степенью покрытия местности снежным покровом более 4 баллов). Окончанием холодного периода считаем дату перехода среднесуточной температуры воздуха выше 0°C и степень покрытия менее 4 баллов.

«Снеговое половодье» – период, характеризующийся высоким и длительным подъемом воды на реках, вызванным таянием снега [17].

«Волна тепла» – период от трех и более дней, когда на фоне относительно ровного хода средней суточной температуры воздуха около 0°C наблюдается всплеск ее значений в среднем на 7°C (пик) с интенсивностью 4°C в сутки. На графике этот всплеск принимает форму волны. При данном критерии процесс постепенного потепления (с монотонным увеличением температуры от 0°C) мы не считаем волной тепла.

«Волна холода» – период от трех и более дней, когда средняя суточная температура воздуха опускается ниже 0°C в среднем на 6°C (пик) с интенсивностью 4°C в сутки.

Исходные данные и методы исследования. Для анализа распределения и продолжительности залегания снежного покрова использовались данные метеостанции Кызыл-Озёк (за период наблюдений 1940–2020 гг.): суточная сумма осадков [7-8]; суточная температура воздуха (средняя, максимальная, минимальная); суточные характеристики снежного покрова (толщина, дата схода снежного покрова) [9].

Для определения даты схода снежного покрова для территории бассейна помимо данных метеостанции Кызыл-Озёк использовались также материалы ДЗЗ. Для выявления областей, покрытых снегом, были использованы снимки со спутника Sentinel-2 [22]. Снежный покров идентифицировался с помощью Normalized Difference Snow Index (NDSI) [15]. Индекс NDSI принимает значения от 0 до 1, снегу соответствуют значения выше 0,4 [16].

Для выделения облачности использован метод с использованием нормализованно разностного индекса зелёного и красного спектра NDGR [12].

Обработка спутниковых снимков производилась посредством специально созданной для этих целей программой, на языке Python, с использованием библиотеки GDAL и оболочки BASH.

Дата схода снега определялась его долей на снимке 10 % и менее от общей площади бассейна [1].

Результаты и их обсуждение

Река Майма и ее притоки имеют преимущественно снеговое питание с участием дождевого и грунтового [3; 5]. Снеговое половодье достаточно отчетливо выделяется на фоне зимней и летней межени. Период снеготаяния для конкретного года во многом определяется динамикой основных метеопараметров в холодный период, предшествующий снеговому половодью и особенностями хода температур в период половодья.

Сход снежного покрова по данным метеостанции Кызыл-Озёк (1940–2020 гг.). Сход снежного покрова на метеостанции Кызыл-Озёк наблюдается чаще всего в середине – конце апреля, реже в конце марта и начале мая (рис. 1). Самая ранняя отмеченная дата схода снежного покрова – 24 марта (2014 г.); самая поздняя – 10 мая (1969 г.); средняя за период – 14 апреля.

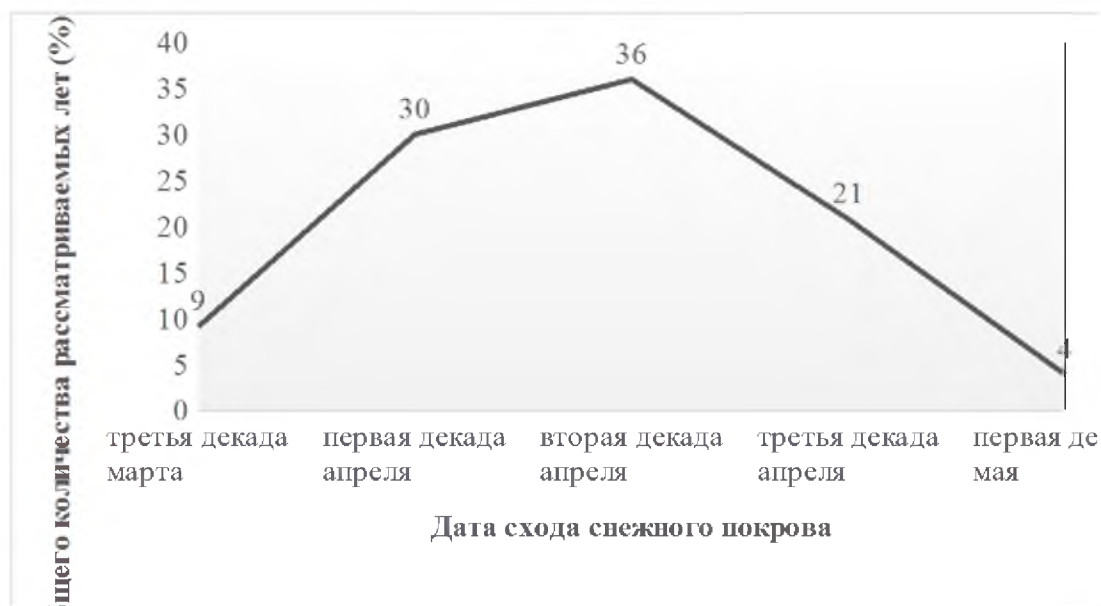


Рис. 1. Периоды схода снежного покрова по данным метеостанции Кызыл-Озёк (1940–2020 гг.)

Метеоусловия периодов предшествующих снеготаянию в 2018–2020 гг. Проведенный на основе данных [7] анализ количества осадков за весь период наблюдений на гидрометеостанции Кызыл-Озёк показывал, что зима 2019/20 г. из трех изучаемых является наиболее снежной – сумма осадков выше среднего за весь период наблюдений на 25 % (табл. 1). Менее снежными были зимы 2017/18 и 2018/19 гг. – сумма осадков ниже среднего, на 11 % и 9 % соответственно.

Анализ суточной температуры воздуха указывают на то, что зима 2017/18 г. из рассматриваемых была наиболее холодной, (на 6 % ниже среднего за весь период наблюдений); а зимы 2018/19 и 2019/20 гг. были значительно более теплые (на 32 % и 25 % выше среднего за весь период).

Таблица 1. Основные метеопараметры холодных периодов 1940/41–2019/20 гг. по данным метеостанции Кызыл-Озёк [7]

Холодный период	Сумма осадков, мм	Средняя температура воздуха, °С
2017/18	96,1	-11,9
2018/19	91,8	-7,7
2019/20	191,4	-8,4
<i>среднее за 1940/41–2019/20 гг.</i>	<i>151,4</i>	<i>-11,3</i>
<i>минимальное за 1940/41–2019/20 гг.</i>	<i>68,9</i>	<i>-18,1</i>
<i>максимальное за 1940/41–2019/20 гг.</i>	<i>317,4</i>	<i>-6,3</i>

Динамика периода снеготаяния в снеговое половодье в бассейне р. Майма (2018–2020 гг.). Даты схода снежного покрова по данным метеостанции и данным ДЗЗ отличались на 3–8 суток (табл. 2).

Таблица 2. Дата схода снежного покрова в бассейне р. Майма за период 2018–2020 гг. по данным метеостанции Кызыл-Озёк [9] (нижнее течение реки) и снимкам Sentinel-2 (для всей площади бассейна)

Год	Начало снегового половодья*	Дата схода снега	
		данные метеостанции	рассчитанная по снимкам
2018	19.03.	22.04.	25.04.
2019	13.03.	02.04.	10.04.
2020	15.03.	15.04.	19.04.

*принимается за дату начало периода снеготаяния

Анализ данных за три рассматриваемых года (табл. 3) независимо от условий предшествующего холодного периода показывает устойчивую зависимость уменьшения площади снежного покрова от высотного градиента. В пределах бассейна дольше всего снег сохраняется в чернево-таёжном подтипе ландшафтов (абсолютные высоты 518–1104 м). Ситуация определяется тем, что поступающие в течение всего холодного периода на территорию бассейна осадки перехватываются наиболее возвышенными участками верховий бассейна. Кроме того, в условиях густого полога тёмнохвойных пород сроки периода снеготаяния увеличиваются. В подтаёжных ландшафтах в связи с меньшими абсолютными высотами территории (386–586 м), а также расположением на некотором удалении от гребня орографического барьера, процессы снеготаяния протекают активнее, что определяет меньшие значения доли площади снега на одни и те же даты по сравнению с чернево-таёжной частью бассейна. Наиболее ранние сроки схода снежного покрова наблюдаются в пределах лесостепных ландшафтов (диапазон высот 327–577 м). Дополнительным эффектом ускоренного снеготаяния в лесостепном барьерно-циклоническом подтипе ландшафтов является преобладание открытых склонов световых и переходных экспозиций, подверженных большому влиянию прямой солнечной радиации и воздействию ветра (световые склоны в пределах бассейна одновременно представляют собой и наветренные), в сравнении с теневыми склонами.

Таблица 3. Доля покрытой снегом площади относительно бассейна в целом и отдельных высотно-поясных уровней (подтипов ландшафтов) в снеговое половодье 2018–2020 гг. (на основе спутниковых данных Sentinel-2)

Дата снимка	Доля снежного покрова от общей площади, %			
	бассейн в целом	подтипы ландшафтов		
		чернево-таёжные субнеморальные	подтаёжные	лесостепные барьерно-циклонические
<i>2018 год</i>				
02.04.	89	83	92	98
05.04.	88	82	92	98
15.04.	33	48	27	10
<i>2019 год</i>				
13.03.	83	70	87	90
21.03.	80	71	81	80
23.03.	71	60	69	73
26.03.	64	62	68	65
02.04.	31	33	29	24
10.04.	6	10	4	0
12.04.	2	3	1	0
<i>2020 год</i>				
20.03.	89	84	92	98
25.03.	83	80	87	93
27.03.	84	77	86	90
01.04.	80	78	83	85
04.04.	72	83	77	63
06.04.	55	56	52	46
11.04.	53	58	48	28
16.04.	17	23	14	2
19.04.	8	12	6	0
21.04.	3	5	3	0

Погодные условия периода снеготаяния в бассейне р. Майма в снеговое половодье 2018–2020 гг. Мы не выявили какой-либо явной зависимости между датой схода снежного покрова и снежностью зимы. Определяющими факторами интенсивности снеготаяния в бассейне за рассматриваемый период являлись скорость и длительность нарастания положительных значений температуры воздуха, а также выпадение твердых осадков в условиях понижения температуры воздуха ниже 0 °С во время половодья. Уменьшение доли снега за сутки в период изучаемых половодий 2018–2020 гг. составляет от 3 до 5 % (рис. 2, приведен пример за 2020 г.).

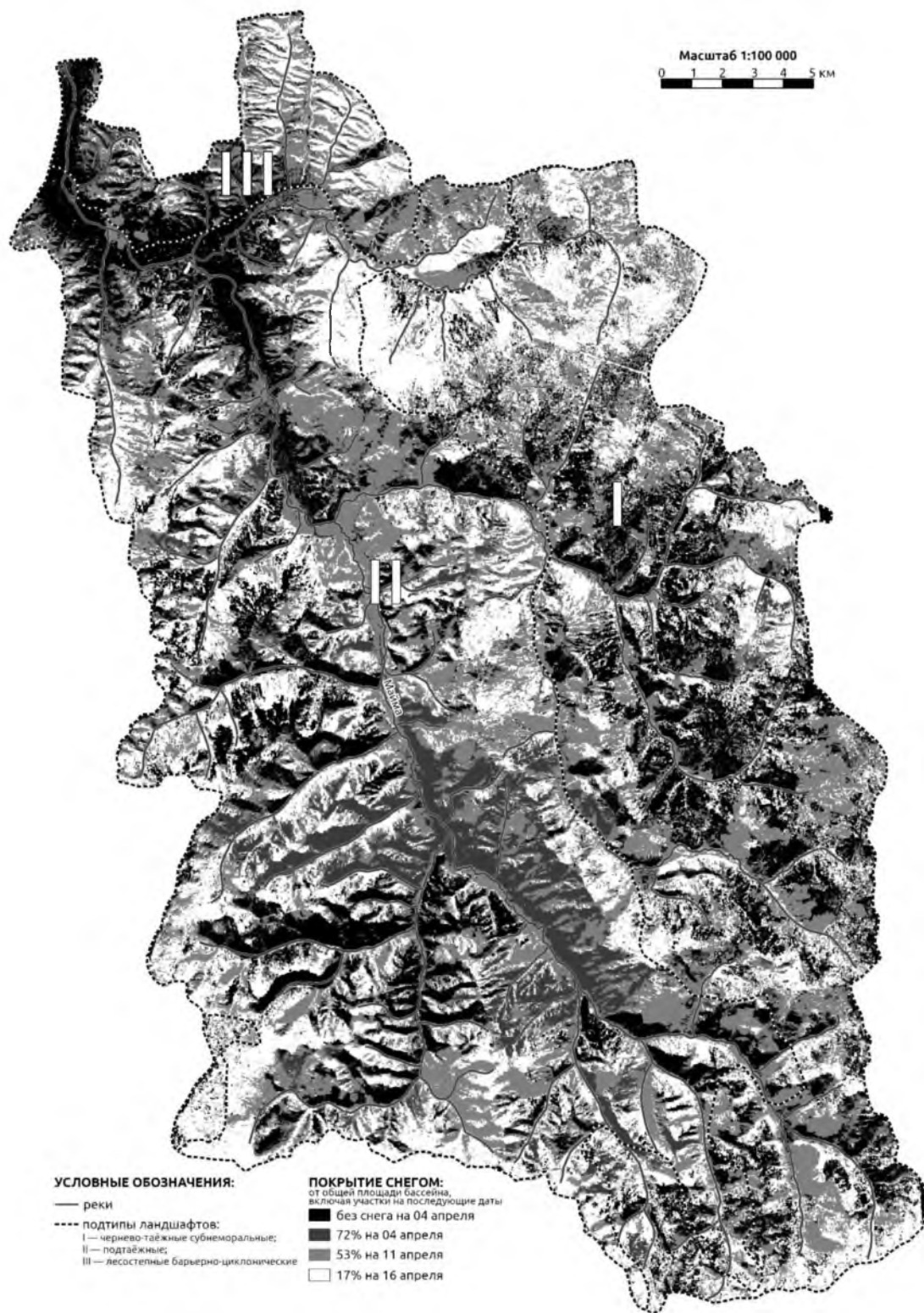


Рис. 2. Снеготаяние в бассейне р. Майма в снеговое половодье 2020 г. (составлена с использованием данных спутника Sentinel-2)

Период снеготаяния 2018 г. является самым длинным среди рассматриваемых и заканчивается позднее всего (табл. 4). Объясняется данный факт тем, что с 19 марта по 5 апреля дважды наблюдалось значительное снижение суточной температуры воздуха до 0 °С и ниже в течение трех и более суток. В период одной из волн холода также наблюдалось выпадение твердых осадков (сумма осадков с 31 марта по 5 апреля 36 мм). Лишь в конце периода снеготаяния отмечалось значительное повышение температуры воздуха близкое к 20 °С и выше – волна тепла (рис. 3). В более короткие периоды снеготаяния 2019 и 2020 гг. проявлялись только по одной волне холода на фоне относительно ровного хода средней суточной температуры воздуха (без резких скачков, см. табл. 4).

Таблица 4. Основные характеристики периода снеготаяния в бассейне р. Майма в снеговое половодье 2018–2020 гг. (по данным метеостанции Кызыл-Озёк [9] и снимкам Sentinel-2)

Период снеготаяния		Волна тепла		Волна холода	
год	сроки / количество суток	сроки	колебания температуры, °С	сроки	колебания температуры, °С
2018	18.03–25.04. 38	22.04–24.04.	19,5–26,2	19.03–21.03 31.03–5.04.	-0,4 – -2,4 -4,2 – -11,8
2019	12.03–10.04. 29	-	-	16.03–21.03	-0,1 – -9,34
2020	14.03–19.04. 36	-	-	24.03.–30.03	0,2 – -9,6



Рис. 3. Комплексный график погодных условий периода снеготаяния 2018 г.: 1 – средняя суточная температура воздуха (°С); 2 – максимальная суточная температура воздуха (°С); 3 – сумма осадков за сутки (мм) (данные метеостанции Кызыл-Озек [7-9])

Выводы

1. Продолжительность залегания и сроки схода снежного покрова в низкогорных ландшафтах бассейна р. Майма в значительной мере определяются погодными условиями в период снегового половодья.

2. В бассейне р. Майма сход снежного покрова наблюдается чаще всего в середине-конце апреля, реже в конце марта и начале мая. Даты схода снежного покрова по данным метеостанции Кызыл-Озек и данным ДЗЗ отличались на 3–8 суток.

3. Дистанционные данные указывают на зависимость уменьшения покрытой снегом площади от высотного градиента. Наиболее поздние сроки схода снежного покрова свойственны наиболее возвышенным участкам верховий бассейна с преобладаем чернотаёжных ландшафтов. В пределах более низкого высотно-поясного уровня, расположенного на некотором удалении от гребня орографического барьера с господством подтаёжных ландшафтов, процессы таяния снега протекают активнее. Наиболее ранние сроки схода снежного покрова наблюдаются в пределах самой низкой лесостепной части бассейна р. Майма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов: монография. – Ленинград: Гидрометеорологическое издание, 1974. – 420 с.
2. Атлас Алтайского края: Т. 1. – М.-Барнаул: Изд. ГУГК, 1978. – 226 с.
3. Галахов В.П. Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне реки Майма) // Известия Алтайского отделения географического общества. – 2015. – № 3 (38). – С. 35–40.
4. Попов Е.Г. Основы гидрологических прогнозов. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 294 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш / Под ред. В.В. Зееберг. – Ленинград: Гидрометеорологическое издание, 1969. – 216 с.
6. Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Карта. М-б 1:500 000. – Новосибирск: ФГУП «Новосибирская картографическая фабрика», 2011.
7. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ)». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 10.11.2020).
8. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549. URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (дата обращения 10.11.2020).
9. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных характеристики снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621201 URL: <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описание-массива-данных> (дата обращения 10.11.2020).
10. Шевнина Е.В. Методика расчетов характеристик весеннего половодья по данным ежедневных расходов воды // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – №1 (95). – С. 44-50.
11. Berghuijs W.R., Woods R.A., Hrachowitz M.A. Precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow // Nature Climate Change. – 2014. – № 4 (7). – P. 583–586.
12. Braaten J.D., Cohen W.B., & Yang Z. Automated cloud and cloud shadow identification in Landsat MSS imagery for temperate ecosystems. Remote Sensing of Environment. – 2015. – V. 169. – P. 128–138.

13. Brown R.D., Robinson D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty // *The Cryosphere*. – 2011. – V. 5. – P. 219–229.
14. Dietz A.J., Kuenzer C., Gessner U., Dech S. Remote Sensing of Snow - a Review of Available Methods // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – V. 33 (13). – P. 4094–4134.
15. Dozier J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper // *Remote Sensing of Environment*. – 1989. – V. 28 (1–3). – P. 9–22.
16. Gascoin S., Grizonnet M., Bouchet M., Salgues G., Hagolle O. Theia Snow Collection: High-Resolution Operational Snow Cover Maps from Sentinel-2 and Landsat-8 Data // *Earth System Science Data*. – 2019. – V. 11 (2). – P. 493–514.
17. Holko L., Gorbachova L., Kostka Z. Snow Hydrology in Central Europe // *Geography Compass*. – 2011. – № 5 (4). – P. 200–218.
18. Nolin A.W. Recent Advances in Remote Sensing of Seasonal Snow // *Journal of Glaciology*. – 2011. – 56 (200). – P. 1141–50.
19. Nolin A.W. Recent Advances in Remote Sensing of Seasonal Snow // *Journal of Glaciology*. – 2011. – V. 56 (200). – P. 1141–1150.
20. Remote Sensing of Snow - a Review of Available Methods / Dietz A.J., Kuenzer C., Gessner U., Dech S. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – V. 33 (13). – P. 4094–4134.
21. Dozier J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper // *Remote Sensing of Environment*. – 1989. – V. 28 (1–3). – P. 9–22.
22. Theia Snow Collection: High-Resolution Operational Snow Cover Maps from Sentinel-2 and Landsat-8 Data / Gascoin S., Grizonnet M., Bouchet M., Salgues G., Hagolle O. // *Earth System Science Data*. – 2019. – V. 11 (2). – P. 493–514.

REFERENCES

1. Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. *Kurs gidrologicheskikh prognozov* [Course of hydrological forecasts]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izdanie, 1974. 420 p.
2. *Atlas Altaiskogo kraja: T. 1.* [Atlas of Altai Krai. Vol. 1.]. Moscow-Barnaul, GUGK Publ., 1978. 226 p.
3. Galakhov V.P. Usloviya formirovaniya polovod'ya maloi gornoj reki (po issledovaniyam v basseine reki Maima) [Conditions for the formation of a flood of a small mountain river (according to studies in the Maima river basin)]. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya geograficheskogo obshchestva*, 2015, no. 3 (38), pp. 35–40.
4. Popov E.G. *Osnovy gidrologicheskikh prognozov* [Fundamentals of hydrological forecasts]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1968. 294 p.
5. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR: Gidrologicheskaja izuchennost'. T. 15. Altaj i Zapadnaya Sibir'. Vyp. 1. Gornyj Altaj i Verhnij Irtysh* [Surface water resources of the USSR. Hydrological studies. Vol. 15. Altai and Western Siberia. Vol. 1. Mountain Altai and Upper Irtysh]. Edited by V.V. Zeeberg. Leningrad, Hydrometeorological edition, 1969. 216 p.
6. Chernykh D.V., Samoylova G.S. *Landshafty Altaja (Respublika Altaj i Altajskij kraj)* [Altai landscapes (Republic of Altai and Altai Krai)]. Map. Scale 1:500 000. Novosibirsk, Federal state unitary enterprise Novosibirsk Cartographic Factory, 2011.
7. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Alexandrova T.M. «*Opisanie massiva dannykh sutochnoi temperatury vozdukhha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)*». Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2014620942 ["Description of the data set of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)". Certificate of state registration of the database No.

2014620942]. Available at: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#opisanie-massiva-dannykh> (accessed 10 November 2020).

8. Bulygina O.N., Veselov V.M., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. «*Opisanie massiva srochnykh dannykh ob osnovnykh meteorologicheskikh parametrakh na stantsiyakh Rossii*». Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2014620549 ["Description of an array of urgent data on the main meteorological parameters at Russian stations." Certificate of state registration of the database No. 2014620549]. Available at: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters> (accessed 10 November 2020).

9. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. «*Opisanie massiva dannykh kharakteristiki snezhnogo pokrova na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR*» Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2014621201 ["Description of the data array characteristics of snow cover at meteorological stations in Russia and the former USSR" Certificate of state registration of the database No. 2014621201]. Available at: <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#opisanie-massiva-dannykh> (accessed 10 November 2020).

10. Shevnina E.V. Metodika raschetov kharakteristik vesennego polovod'ya po dannym ezhdnevnykh rashodov vody [Method of calculating the characteristics of the spring flood according to the data of daily water consumption]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2013, no. 1 (95), pp. 44–50.

11. Berghuijs W.R., Woods R.A., Hrachowitz M.A. Precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. *Nature Climate Change*, 2014, no. 4 (7), pp. 583–586.

12. Braaten J.D., Cohen W.B., & Yang Z. Automated cloud and cloud shadow identification in Landsat MSS imagery for temperate ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 2015, no. 169, pp. 128–138.

13. Brown R.D., Robinson D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*, 2011, no. 5, pp. 219–229.

14. Dietz A.J., Kuenzer C., Gessner U., Dech S. Remote Sensing of Snow - a Review of Available Methods. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, no. 33 (13), pp. 4094–4134.

15. Dozier J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 1989, no. 28 (1–3), pp. 9–22.

16. Gascoïn S., Grizonnet M., Bouchet M., Salgues G., Hagolle O. Theia Snow Collection: High-Resolution Operational Snow Cover Maps from Sentinel-2 and Landsat-8 Data. *Earth System Science Data*, 2019, no. 11 (2), pp. 493–514.

17. Holko L., Gorbachova L., Kostka Z. Snow Hydrology in Central Europe. *Geography Compass*, 2011, no. 5 (4), pp. 200–218.

18. Nolin A.W. Recent Advances in Remote Sensing of Seasonal Snow. *Journal of Glaciology*, 2011, no. 56 (200), pp. 1141–1150.

19. Nolin A.W. Recent Advances in Remote Sensing of Seasonal Snow. *Journal of Glaciology*, 2011, no. 56 (200), pp. 1141–50.

20. Dietz A.J., Kuenzer C., Gessner U., Dech S. Remote Sensing of Snow - a Review of Available Methods. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, no. 33 (13), pp. 4094–4134.

21. Dozier J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 1989, no. 28 (1–3), pp. 9–22.

22. Gascoïn S., Grizonnet M., Bouchet M., Salgues G., Hagolle O. Theia Snow Collection: High-Resolution Operational Snow Cover Maps from Sentinel-2 and Landsat-8 Data. *Earth System Science Data*, 2019, no. 11(2), pp. 493–514.

Информация об авторах:

Лубенец Лилия Федоровна, кандидат географических наук, научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия. E-mail: lilia_lubenets@mail.ru

Lilia F. Lubenets, Cand. Sci. (Geography), Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia. E-mail: lilia_lubenets@mail.ru

Черных Дмитрий Владимирович, главный научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН; профессор, кафедра экологии, биохимии и биотехнологии, Биологический факультет, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия. E-mail: chernykhd@mail.ru

Dmitrey V. Chernykh, Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia; Professor, Altai State University, Barnaul, Russia. E-mail: chernykhd@mail.ru

Першин Дмитрий Константинович, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Россия ГСП-1, Ленинские горы; научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия. E-mail: dmitrypersh@gmail.com

Dmitry K. Pershin, PhD, Junior Researcher, Department of Geography, Lomonosov Moscow State University, 119991, Russian Federation, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory; Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of RAS, Barnaul, Russia. E-mail: dmitrypersh@gmail.com

Сабаев Артем Александрович, аспирант, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия; младший научный сотрудник, ФГУП «Государственный природный заповедник «Тигирекский», г. Барнаул, Россия, E-mail: artsabaev@outlook.com

Artem A. Sabaev, postgraduate, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia; Junior Researcher, Federal State Budgetary Institution "State nature reserve "Tigirekskij", Barnaul, Russia. E-mail: artsabaev@outlook.com