

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.16

Л.И. Дубровская, Н.Е. Патрушева

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СНЕГОЗАПАСОВ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ВОДОСБОРАХ
ЛЕВОБОЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕЙ ОБИ**

Приведены результаты комплексных исследований пространственно-временной изменчивости характеристик снежного покрова (снегозапасы, даты начала снеготаяния), температуры и осадков холодного периода по метеостанциям, освещающим гидрометеорологическую обстановку на заболоченных водосборах левобережья Средней Оби. Выявлены заметные количественные изменения в средних многолетних за исследуемый период (1976–2010 гг.) характеристиках холодного периода по сравнению с 1936–1980 гг.

Ключевые слова: снежный покров; максимальный снегозапас; коэффициент снегонакопления; заболоченный водосбор; Западная Сибирь.

Характерной особенностью рассматриваемой территории является высокая заболоченность. Здесь расположено большое Васюганское болото — самый крупный по масштабам в Западной Сибири и на планете природный комплекс (53 тыс. км²). На Западно-Сибирской равнине талые воды вносят наибольший вклад (порядка 65–75 %) в речной сток.

Изучение формирования снежного покрова, его распределения по территории и в особенности определение снегозапаса в конце зимы перед началом снеготаяния в пределах речных бассейнов представляет большой научный и практический интерес, так как снегозапас является основным фактором пополнения болотных вод и формирования объема весеннего стока с них. В настоящее время опубликовано немало работ об основных характеристиках снежного покрова, но большинство из них не затрагивает тему влияния изменений климата, произошедших на территории Западной Сибири после 2000 г., на основные показатели снежного покрова [9].

Рассматриваемая территория включает заболоченные водосборы бассейнов таких рек, как Ларьеган, Васюган, Парабель, Чая. Особенностью большей части территории является преобладание верховых (олиготрофных) грядово-мочажинных болот, достигших оптимального развития и занимающих почти сплошь водораздельные пространства и плоские террасы. В зависимости от условий питания и рельефа на верховых болотах имеют развитие также грядово-озерковые и озерные комплексы. Долины многих рек также сильно заболочены, однако болота эти в основном низинные (евтрофные) [5]. Наиболее высокая заболоченность характерна для верховья рек Икса, Бакчар, Андарма — 80–100 % (бассейн р. Чаи).

Максимальный снегозапас или наибольший запас воды в снежном покрове — это общее количество воды в твердом и жидком виде, содержащееся в снежном покрове на момент максимального его накопления. Следует иметь в виду, что снежный покров представляет собой явление исключительной сложности, чрезвычайно изменчивое в пространстве и во времени. Сравнительно редкая сеть станций и постов делает задачу обобщения данных по снегозапасам, температуре и осадкам весьма затруднительной, но в то же время важной и актуальной. Целью работы является выявление современных тенденций в формировании снегозапасов в условиях регионального изменения климата.

Основные факторы, формирующие снегонакопление, — климатические: осадки и температура холодного периода, ветер (метелевый перенос), поэтому основой для анализа режима снегонакопления послужили декадные данные снегомерных съемок, средние месячные суммы

© Дубровская Л.И., Патрушева Н.Е., 2013

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 12-05-00437-а)

Дубровская Лариса Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; dubrli@sibmail.com

Патрушева Нина Евгеньевна, ассистент кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета; 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; rojdestvo@yandex.ru

твердых осадков и среднемесячные температуры холодного периода (ноябрь–март) Росгидромета за период 1976–2010 гг.

Режимные данные достаточной продолжительности и с минимальным количеством пропусков в наблюдениях, допускающих восстановление, имелись в лесной зоне у 8 метеостанций (м/с): средняя тайга — Александровское, Средний Васюган и Новый Васюган (бассейн р. Васюган); южно-таежные леса — Старица, Парабель, Пудино (бассейн р. Парабель), Бакчар (бассейн р. Чая), Молчаново (Б. Татош).

Статистическая оценка надежности рядов многолетних наблюдений за максимальным снегозапасом, осадками и температурой холодного периода включала проверку репрезентативности по интегральным разностным кривым и относительной ошибке вычисления среднего; соответствия нормальному закону распределения по критериям согласия однородности по критериям Стьюдента и Фишера; расчет статистических характеристик.

В данной работе термин «максимальный снегозапас» употребляется в смысле наибольшего запаса воды в снежном покрове за отдельную зиму. В научно-прикладном справочнике по климату СССР [7] приводятся три характеристики — средний, максимальный и минимальный снегозапас за многолетний период. Для сравнения с данными справочников в качестве устойчивой характеристики снегозапаса за многолетний период наблюдений в работе используется среднее значение ряда из максимальных снегозапасов за отдельные зимы.

В целом снегозапасы возрастают в северном направлении (табл.1). Относительная ошибка вычисления среднего из наибольших за зиму снегозапасов для всех постов не превышает 6 %.

Таблица 1

Статистические характеристики снегозапасов (S, мм), осадков (X, мм), температуры холодного периода (Т, °С) за 1976–2010 гг.

Метеостанция	Снегозапас, средний из наибольших за зиму			Многолетняя сумма осадков холодного периода			Многолетняя средняя месячная температура холодного периода		
	S	σ	C_v	X	σ	C_v	T	σ	C_v
Александровское	170	34	0,20	127	24	0,19	-15,7	2,5	0,16
Средний Васюган	156	35	0,20	142	30	0,21	-14,2	2,7	0,19
Новый Васюган	148	37	0,25	139	32	0,23	-14,6	2,7	0,19
Парабель	113	45	0,26	129	32	0,25	-14,5	2,4	0,16
Старица	154	31	0,18	131	32	0,25	-14,1	2,5	0,18
Пудино	124	37	0,29	127	28	0,22	-13,7	2,5	0,18
Молчаново	136	44	0,26	130	29	0,23	-13,5	2,5	0,19
Бакчар	119	38	0,31	115	27	0,24	-13,6	2,5	0,18

Примечание: σ — среднее квадратическое отклонение, мм; C_v — коэффициент вариации.

Межгодовая изменчивость максимальных снегозапасов, являющаяся одним из главных факторов вариаций объемов воды, поступающих на водосбор, слабая ($C_v < 30\%$), за исключением м/с Бакчар. Изменчивость остальных рассматриваемых характеристик (осадков и температур) также невелика.

Нерепрезентативным оказался ряд снегозапасов по м/с Пудино. И хотя по нему нельзя установить норму максимальных снегозапасов, на оценки тенденций в многолетней динамике это обстоятельство не влияет. Обращает на себя внимание факт, что результаты, полученные по м/с Пудино, отличаются практически по всем характеристикам от остальных. Так, для ряда максимальных снегозапасов обнаружена убывающая тенденция, а даты начала снеготаяния, в отличие от других районов, имеют тенденцию сдвига на более ранние сроки. В то же время сумма осадков за холодный период имеет слабую тенденцию к возрастанию.

Сравнение многолетних характеристик снегозапасов, осадков и температур за холодный период года с данными, имеющимися в справочниках [6] и [7], позволяет сделать вывод о повсеместном увеличении средних из наибольших за зиму снегозапасов на фоне возрастающих средних многолетних температур и осадков холодного периода (табл. 2, 3).

Таблица 2

Сравнительный анализ определения средних из наибольших за зиму снегозапасов

Метеостанция	Данные авторов 1976–2010 гг.		Справочник по климату СССР [6]*		Научно-прикладной справочник по климату СССР [7]*	
	Характ-ка маршрута	Снегозапас	Характ-ка маршрута	Снегозапас	Характ-ка маршрута	Снегозапас
Александровское	Лес	170	Поле	107	Лес	122
Ср. Васюган	Лес	156	Поле	126	Лес	143
Парабель	Поле	113	Поле	96	Поле	103
Старица	Поле	154	Поле	132	Поле	Нет данных
Пудино	Поле	124	Поле	118	Поле	116
Молчаново	Поле	136	Поле	Нет дан-х	Поле	108
Бакчар	Поле	119	Поле	92	Поле	96

Примечание: * [6] — в пределах имеющихся на станциях наблюдений по 1960 г., [7] — по 1980 гг.

Таблица 3

Сравнительный анализ определения многолетних сумм осадков и многолетних средних месячных температур холодного периода за разные периоды наблюдений*

Метеостанция	Осадки, мм			Температура, °С		
	Данные [6]*	Данные [7]*	Данные авторов	Данные [6]*	Данные [7]*	Данные авторов
Александровское	97	110	127	-17,2	-14,9	-15,7
Ср. Васюган	129	147	142	-15,9	-15,8	-14,2
Нов. Васюган	Нет данных	Нет данных	139	-15,2	Нет данных	-14,6
Парабель	82	98	129	-16,5	-16,3	-14,5
Старица	94	Нет данных	131	-15,8	Нет данных	-14,1
Пудино	97	110	127	-12,0	-15,6	-13,7
Молчаново	102	116	130	-15,3	-15,2	-13,5
Бакчар	108	101	115	-15,6	-15,2	-13,6

Примечание: * [6] — в пределах имеющихся на станциях наблюдений по 1964 г., [7] — по 1980 гг.

В табл. 2 представлены данные по снегозапасам в зависимости от характеристики местности (поле или лес), где осуществлялись снегоуборки. Независимо от типа атмосферной циркуляции (циклонического или антициклонического) снегозапасы за зиму на полевых участках всегда меньше, чем в лесу или на болотном массиве. Процесс формирования снежного покрова в лесу является сложной функцией многих факторов и прежде всего таксационных характеристик леса.

На болотном массиве снегозапасы также сильно варьируют в зависимости от типа микроландшафта и влияния ветра (метелевый перенос). В работах Д.А. Буракова [3] и А.И. Петрова с соавторами [4] приводятся коэффициенты снегонакопления (соотношение снегозапаса в поле S_p и в лесу S_l) для рассматриваемой территории: в лесостепи $S_l/S_p = 1,25 - 1,50$, в тайге $S_l/S_p = 1,15 - 1,25$. По более поздним данным 10-летних снегомерных съемок на отрогах Васюганского болота (1994–2004 гг.) А.И. Петровым [8] были уточнены коэффициенты снегонакопления: в лесоболотной группе микроландшафтов он изменялся в пределах 1,14–1,16; в группе рямов (средний и мелкий) и грядово-мочажинном комплексе — 1,25–1,27. Среднее арифметическое значение коэффициента снегонакопления по всем микроландшафтам составляет 1,2.

Пестрая картина динамики снегозапасов на фоне увеличения осадков и повышения средних многолетних температур холодного периода свидетельствует о сложности условий формирования снежного покрова и влиянии ряда других факторов, таких как, например, сильные метели (среднее число дней с метелями уменьшилось в последние годы в 3–6 раз [2]), интенсивность снегопадов.

В условиях регионального изменения климата для представления происходящих изменений в гидрологических и климатических процессах и их прогнозирования используется анализ тенденций (табл. 4, рис. 1). Для такого анализа в работе использовались следующие методы: параметрический Аббе и непараметрический ранговых коэффициентов.

Таблица 4

Гидрографические характеристики бассейнов и оценка тенденций максимальных снегозапасов, дат начала снеготаяния

Метеостанция	Бассейн реки	Площадь бассейна, освещаемая метеостанцией, км ²	Заболоченность, %	Направление тенденции	
				Максимальный снегозапас, мм	Дата начала снеготаяния
Александровское	Ларьеган	3610		█	–
Средний Васюган	Васюган	31700	40	+	+
Новый Васюган	Васюган	19000	35	–	+
Парабель	Парабель			–	█
Старица	Парабель	17900	40	+	+
Пудино	Чузик	≈ 7000	40	–	–
Молчаново	Б. Татош	1560		█	+
Бакчар	Бакчар	≈ 2500	40	+	Нет тенд.

Примечание: (+) — тенденция на увеличение снегозапасов или сдвиг даты на более поздние сроки, (–) — тенденция на уменьшение снегозапасов или сдвиг на более ранние сроки; темным фоном выделены достоверные тренды на уровне значимости 0,05.

Метод Аббе [1] можно было применять для рядов максимальных снегозапасов, так как они согласуются с нормальным законом распределения (по критериям Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уилкса и Лилиефорса). Совпадающие результаты обоими методами по определению статистически достоверных трендов (на уровне значимости 0,05) обнаружены в рядах максимальных снегозапасов по м/с Александровское и Молчаново и в датах начала снеготаяния по м/с Парабель.

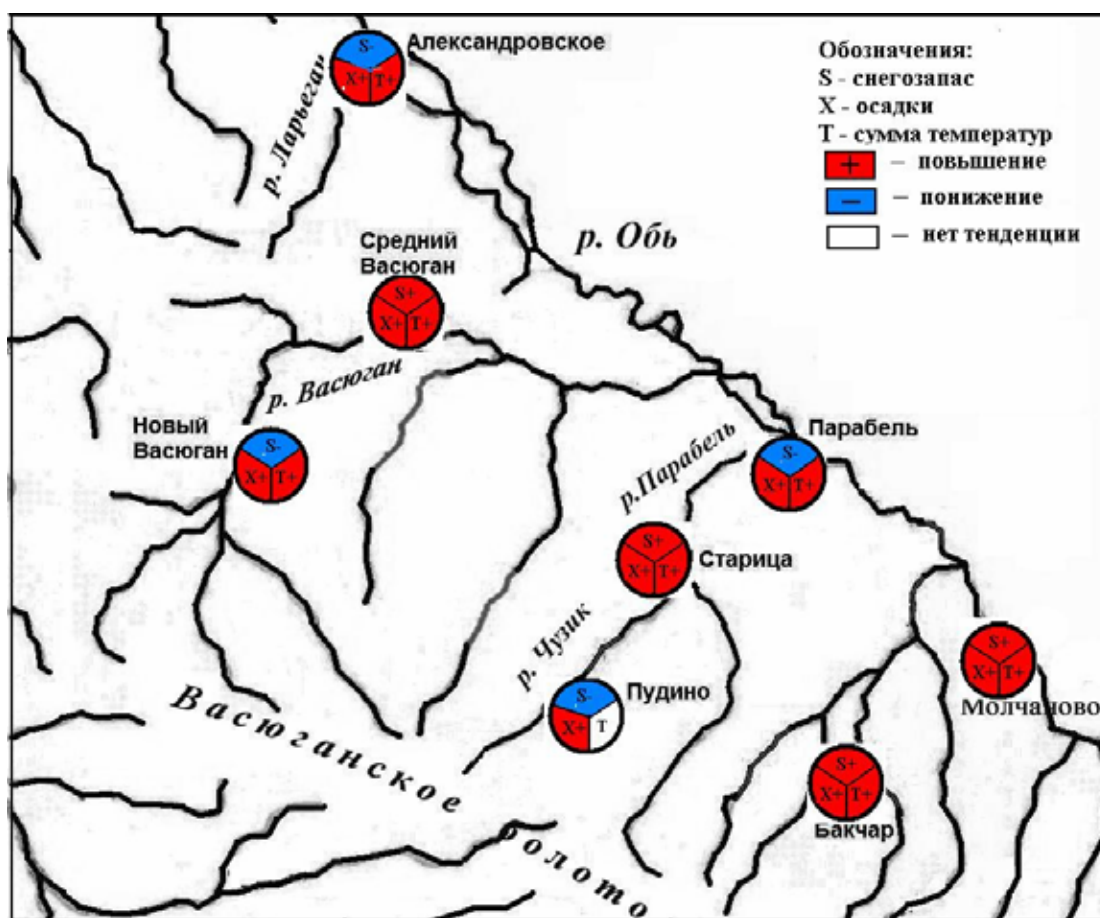


Рис. 1. Карта-схема расположения метеорологических станций с обозначением направлений тенденции в рядах максимальных снегозапасов, средних сумм месячных осадков и температур за холодный период в 1976–2010 гг. Статистически достоверные из них: снегозапасы на м/с Александровское и Молчаново

Анализ рядов с датами начала снеготаяния выявил наличие тенденции к сдвигу как на более поздние сроки, так и на более ранние. В большинстве случаев (кроме м/с Парабель) эти изменения статистически незначимы.

Отсутствие каких-либо четких закономерностей в тенденциях средних многолетних снеготаяний и сроках начала снеготаяния на исследуемой территории еще раз подтверждает сложность их формирования в отличие от средних многолетних температур и осадков (рис. 2).

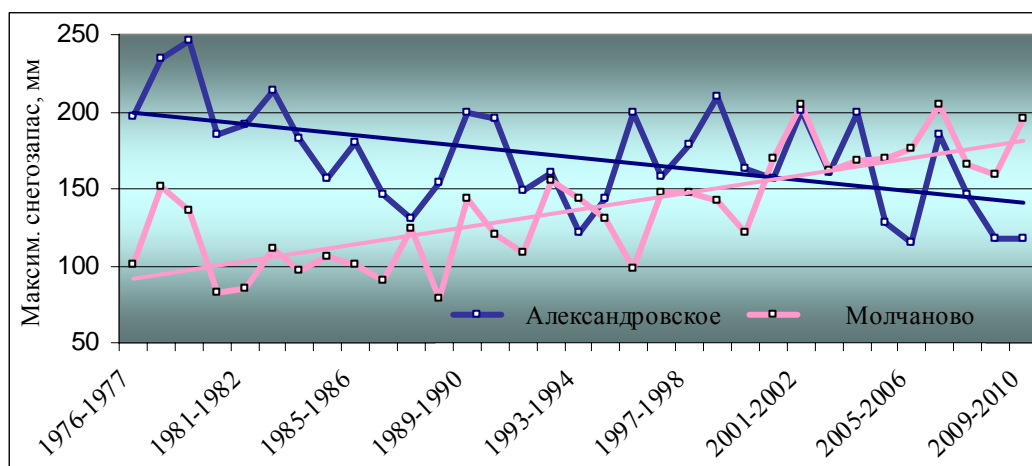


Рис. 2. Статистически значимые тенденции межгодовой изменчивости максимальных запасов воды в снеге

В отличие от снеготаяний в рядах осадков прослеживаются четкие закономерности в тенденциях. Средние за холодный период осадки на всех станциях имеют тенденцию к увеличению. В то же время наблюдается большая изменчивость по отдельным месяцам внутри холодного периода: для всех метеостанций характерно уменьшение суммы месячных осадков в январе, аналогично в октябре (кроме Бакчара). В остальные месяцы холодного периода у всех м/с прослеживается тенденция к увеличению. Значение показателя средних многолетних осадков за холодный период года по всем станциям увеличилось по сравнению с периодом 1936–1980 гг.

Аналогичная картина наблюдается и в динамике температур — средних месячных и средних за холодный период. На подавляющем числе станций в декабре и январе средние месячные температуры воздуха имеют тенденцию к понижению, а в остальные 4 месяца холодного периода на всех станциях — к повышению. В целом для средней температуры холодного периода на всей территории характерно повышение (за исключением м/с Пудино — нет тенденции), однако эти изменения статистически незначимы. Средняя многолетняя температура холодного периода по всем станциям (кроме м/с Александровское) повысилась по сравнению с 1936–1980 гг.

Выводы. За исследуемый период многолетние средние месячные значения температуры воздуха холодного периода повысились, осадки холодного периода увеличились, средние из наибольших за зиму снеготаяния возросли на всех метеостанциях по сравнению с 1936–1980 гг.

Сложная для анализа картина складывается с динамикой снеготаяний, поэтому выводы производятся по статистически достоверным процессам: отмечается тенденция к увеличению снеготаяний по м/с Молчаново, уменьшение — м/с Александровское. Сроки разрушения устойчивого снежного покрова по режимным наблюдениям изучаемой территории на части станций имеют тенденцию к сдвигу на более поздние сроки (бассейн реки Васюган), однако статистически значимый тренд зафиксирован только у м/с Парабель (сдвиг начала снеготаяния на более ранние сроки). Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о заметных изменениях в условиях формирования снеготаяний за последние 34 года.

Библиографический список

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справ. изд. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
2. Борисова А.В., Журавлев Г.Г. Динамика метелей Томской области // Климатология и гляциология Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Томск: ЦНТИ, 2012. С. 47–49.
3. Бураков Д. А. Некоторые особенности залегания снежного покрова в условиях Васюганья // Вопросы географии Сибири. № 6. 1966.
4. Бураков Д.А. и др. Гидролого-математические модели в прогнозах речного стока сибирских рек // География и окружающая среда. СПб.: Наука, 2003. С. 242–253.
5. Евсеева Н. С. География Томской области. Природные условия и ресурсы. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2001. 222 с.
6. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1969, вып.20, ч. 4: Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. 330 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР / Зап.-Сиб. территориальное упр. по гидрометеорологии. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. Вып. 20. Серия 3. Части 1–6. 718 с.
8. Петров А. И., Инишев Н. Г., Дубровская Л.И. Закономерности формирования снегозапасов на заболоченном водосборе южно-таежной зоны Западной Сибири // Вестник Том. гос. ун-та. Серия естественных наук. № 360. 2012. С. 182–187.
9. Шмакин А. Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Снег и лед. 2010. № 1. С.43–57.

L.I. Dubrovskaya, N.E. Patrusheva

ANALYSIS OF VARIABILITY OF SNOW STORAGE ON WETLANDS BASINS LEFT BANK
MIDDLE OB

The results of complex researches of existential variability of the main characteristics of snow cover according to meteorological stations on wetlands basins left bank Middle Ob. Existence of statistically reliable tendencies in distribution of snow cover and in terms of destruction of steady snow cover during 1976–2010 is revealed. The increase in average temperature and the sum of a precipitation for November–March on all study area is noted.

Keywords: maximum snow storage; coefficient of snow accumulation; microlandscape; Western Siberia

Larisa I. Dubrovskaya, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of Hydrology Department National exploratory Tomsk State University; 36, pr. Lenina, Tomsk, Russia, 634050; dubrli@sibmail.com

Nina E. Patrusheva, Assistant of Hydrology Department National exploratory Tomsk State University; 36, pr. Lenina, Tomsk, Russia, 634050; rojdestvo@yandex.ru