

Особенности распределения снежного покрова на побережье озера Байкал© 2017 г. Н.Н. Воропай^{1,2*}, В.К. Власов¹¹Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия;²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

*voropay_nn@mail.ru

Characteristics of the snow cover distribution on the coast of Lake BaikalN.N. Voropay^{1,2*}, V.K. Vlasov¹¹Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia;²Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

*voropay_nn@mail.ru

Received April 21, 2016

Accepted December 16, 2016

Keywords: long-term changes, precipitation, snow characteristics, snow cover, temperature.**Summary**

The paper presents results of studies of the dynamics of snow cover characteristics along the Lake Baikal coast for the years 1961–2009. Statistical characteristics of the following elements: snow depth, duration of the period with snow cover, dates of onset and destruction of snow cover, were calculated from data of local meteorological stations. Mean annual snow depth in the region varies from 1 to 36 cm, while the maximal ten-day values changes from 12 cm on the West coast up to 60–86 cm on the East coast. Mean duration of the snow cover in the Baikal region is 138 days, while on the East coast it lasts for 178 days, and on the West one – for 126 days. Long-term trends of the snow cover characteristics are mostly statistically insignificant. However, at the end of the above period dates of the snow cover onset and destruction has been shifted to earlier dates. The inter-annual variability of these dates reaches 30 days. A linear dependence of the snow cover depth on the mean air temperature and the precipitation amount for the cold season was revealed with correlation coefficients from 0.31 to 0.89.

Citation: Voropay N.N., Vlasov V.K. Characteristics of the snow cover distribution on the coast of Lake Baikal. *Led i Sheg. Ice and Snow*. 2017. 57 (3): 355–364. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2017-3-355-364

Поступила 21 апреля 2016 г.

Принята к печати 16 декабря 2016 г.

Ключевые слова: атмосферные осадки, многолетние изменения, температура воздуха, характеристики снежного покрова.

Анализ многолетних изменений высоты снежного покрова, дат его образования и разрушения за 1961–2009 гг. по данным метеорологических станций позволил установить различия указанных характеристик на восточном и западном побережьях озера Байкал. В конце исследуемого периода отмечено смещение дат установления и разрушения снежного покрова к более ранним срокам при отсутствии статистически значимых трендов. Установлена линейная зависимость высоты снежного покрова от средней температуры воздуха за холодный период и сумм атмосферных осадков.

Введение

Глобальное потепление в последние десятилетия XX в. отразилось на ряде климатических показателей, в том числе и на снежном покрове [1–5]. Состояние снежного покрова – важнейшая характеристика регионального климата. В ряде исследований оценивались тенденции изменения южной границы распространения [6], продолжительности залегания (число дней со снежным покровом) и высоты снежного покрова [7–10]. В последние годы большое число работ посвящено влиянию изменчивости параметров снежного покрова на промерзание грунта и анализу связей

с атмосферной циркуляцией [11–14]. Тема настоящего исследования важна как в теоретическом, так и в практическом аспекте. Оценка распределения и изменения характеристик снежного покрова необходима для различных отраслей хозяйства (сельское и лесное хозяйство, транспорт, деревообрабатывающая промышленность, строительство), используется она для управления водными и почвенными ресурсами, для работ в смежных с климатологией областях (гидрология, почвоведение, курортология и др.).

Прибайкалье расположено в умеренных широтах, где изменчивость атмосферно-циркуляционных условий, а следовательно, и метеорологи-

ческого режима — одна из основных особенностей климатического режима. В этих широтах существует не только временная, но и территориальная изменчивость многих метеорологических элементов и явлений [15]. На территории Прибайкалья есть горные хребты, окаймляющие озеро Байкал, и соседние с озером межгорные котловины. Большинство хребтов Прибайкалья имеют сравнительно мягкие очертания и плоские вершины, выровненные процессами длительной денудации. Лишь на наиболее высоких участках на севере Байкальского хребта, в Хамар-Дабане, а также на Икатском и Баргузинском хребтах встречаются массивы с альпийскими формами рельефа (максимальная отметка — 2840 м, Баргузинский хребет) [16]. Над Прибайкальем в течение всего года господствует местный континентальный воздух, поэтому для данной территории характерны сравнительно холодная зима (средняя температура января $-22 \div -26$ °С) и умеренно тёплое лето (средняя температура июля $15-18$ °С).

Территория исследования — Байкальская котловина, центральная часть Прибайкалья. На климат Байкальской котловины сильно влияет водная масса озера, медленно остывающая осенью и долго нагревающаяся летом. Зима на берегах Байкала на $6-10$ °С теплее, чем в соседних районах Прибайкалья, а лето гораздо прохладнее. Самый тёплый месяц на берегах озера — август, наиболее холодный — февраль. Как и в областях с морским климатом, осень на Байкале гораздо теплее весны. Максимальные амплитуды среднемесячных температур здесь наименьшие в Сибири (около $30-35$ °С). Влияние Байкала, окружённого высокими горами, сказывается лишь на климате узкой полосы его побережья и наветренных западных склонов восточных хребтов Прибайкалья, где благодаря воздействию озера выпадает большое количество осадков (ГМС Танхой — 826 мм, Хамар-Дабан — 1443 мм), а высота снежного покрова на западных склонах этих хребтов в 2–3 раза больше, чем на восточных.

Материалы и методы исследования

При анализе пространственно-временной изменчивости характеристик снежного покрова за 1961–2009 гг. учитывались все ежегодные измерения, проводимые с 1 октября по 30 апреля на



Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций
Fig. 1. Location of weather stations

11 станциях Прибайкалья, находящихся на побережье оз. Байкал в диапазоне высот 458–500 м над ур. моря (рис. 1, табл. 1). Использовалась информация о средней декадной высоте снежного покрова по постоянной рейке и продолжительности залегания устойчивого снежного покрова, датах его образования и разрушения, средней месячной температуре воздуха и сумме осадков холодного периода года. ГМС Баргузинский заповедник, Байкальск, Большой Ушканий и Еланцы расположены на защищённых от ветра участках, а ГМС Большое Голоустное, Исток Ангары, Култук, Сарма, Солнечная, Узур, Хужир — на открытых площадках. По декадным данным вычислены средние месячные величины исследуемых параметров, среднее квадратическое отклонение, дисперсия, оценены линейные тренды в рядах и связь изменений характеристик снежного покрова с температурой воздуха и суммами атмосферных осадков.

Изменение характеристик снежного покрова на побережье озера Байкал

Высота снежного покрова. Максимальные средние годовые значения высоты снежного покрова в 1,5–3 раза превышают средние многолетние значения (см. табл. 1). При этом они в 3–9 раз больше минимумов, что свидетельствует о достаточно большой межгодовой амплитуде

Таблица 1. Характеристики высоты снежного покрова за 1961–2009 гг.

Гидрометеостанция, высота над ур. моря	Средняя за холодный период (октябрь–апрель), см			Дисперсия, см ²	Наибольшая декадная дисперсия, см	Дата фиксирования	Наибольшая средняя дисперсия, см	Дата фиксирования
	средняя многолетняя	наибольшая	наименьшая					
Байкальск, 479 м	25,56	46,52	10,76	55,52	80	Февраль 1966, вторая декада	77,33	Февраль 1965
Баргузинский заповедник, 468 м	35,94	65,24	22,14	77,31	86	Апрель 2002, вторая декада; март 1962, третья декада	84,33	Март 1962
Большое Голоустное, 461 м	4,89	8,33	2,43	5,36	16	Март 2004, первая и вторая декады	14,00	Февраль 2004
Большой Ушканий, 458 м	13,90	40,24	1,62	149,19	60	Март 2001, вторая декада	58,33	Март 2001
Еланцы, 499 м	2,62	8,00	1,52	5,46	23	Март 2004, первая декада	16,33	Март 2004
Исток Ангары, 460 м	5,93	11,00	3,57	5,71	24	Март 2004, первая декада	21,33	Февраль 2004
Култук, 465 м	1,63	7,14	0,52	2,14	31	Март 2001, третья декада	27,33	Март 2001
Сарма, 464 м	2,03	21,67	0,00	14,36	62	Март 2001, третья декада	54,67	Март 2001
Солнечная, 463 м	5,18	9,71	0,57	11,85	27	Ноябрь 2004, третья декада	17,00	Ноябрь 2004
Узур, 460 м	6,10	20,76	0,14	19,43	39	Март 2001, вторая декада	38,00	Март 2001
Хужир, 487 м	1,21	4,62	0,10	1,08	12	Февраль 2005, вторая и третья декады	11,33	Февраль 2005

колебаний высоты снежного покрова. Наибольшие значения межгодовой изменчивости высоты снежного покрова свойственны тем ГМС, на которых наблюдения ведутся на закрытом участке – Баргузинский заповедник (43,1 см), Большой Ушканий (38,62 см), Байкальск (35,76 см). Наименьшая амплитуда колебаний отмечается на открытых участках – на ГМС Хужир (4,52 см), Большое Голоустное (5,9 см), Култук (6,52 см). Максимальная высота снежного покрова наблюдаются в марте и феврале, исключение составляет только ГМС Солнечная, где максимум приходится на ноябрь. Наибольшая месячная и декадная высота снежного покрова наблюдалась в начале 1960-х годов и после 2000 г.

Результаты пространственной корреляции показывают синхронность изменений высоты снежного покрова на ГМС. В большинстве случаев величина коэффициентов корреляции равна 0,8–0,9. С увеличением расстояния или при рассмотрении двух станций, расположенных на разных берегах оз. Байкал, он уменьшается до 0,5–0,6. При анализе высоты снежного покрова мы выделили две группы станций – на восточном побережье (ГМС Байкальск, Баргузинский заповедник и Большой Ушканий) и на западном побережье (ГМС Большое Голоустное, Еланцы, Исток Ангары, Култук, Сарма, Солнечная, Узур, Хужир). Отклонения от средних многолетних значений высоты снежного покрова по двум группам станций носят как положительный, так и отрицательный характер (рис. 2). Многолетняя тенденция в обоих случаях положительна, но только на западном побережье она статистически значима.

Некоторое уменьшение высоты снежного покрова на станциях восточного побережья заметно с зимы 1960/61 до зимы 1971/72 г. и с зимы 2000/01 до зимы 2008/09 г. Тенденцию к увеличению высоты снега можно проследить с зимы 1972/73 г. до зимы 1999/2000 г. Для станций западного побережья характерны рост высоты снежного покрова в зимы 1960/61–1999/2000 гг. и уменьшение в зимы 2000/01–2008/09 гг. Можно выделить и годы с особенно большими аномалиями (отклонениями от среднего многолетнего значения за исследуемый период) высоты снежного покрова. Это положительные аномалии (до 10–20 см) в зимы 1960/61, 1961/62, 1999/2000, 2000/01, 2005/06 гг. на ГМС восточ-

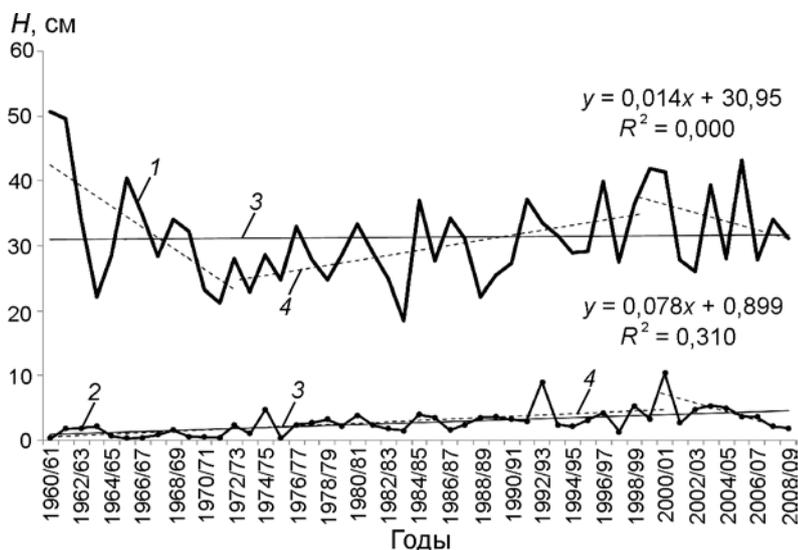


Рис. 2. Высота снежного покрова на метеорологических станциях:

1 – восточного побережья; 2 – западного побережья; 3 – линии тренда за 1961–2009 гг.; 4 – линии тренда за периоды, указанные в тексте

Fig. 2. Snow depth at weather stations: 1 – east coast; 2 – west coast; 3 – trend lines for the 1961–2009; 4 – trend lines for the periods indicated in the text

ного побережья и в зимы 1992/93, 2000/01 гг. на ГМС западного побережья; отрицательные аномалии (до -13 см) в зимы 1971/72, 1982/83, 1988/89 гг. на ГМС восточного побережья.

Отметим, что промежуток времени между двумя максимумами и двумя минимумами равен 11–12 годам, т.е. совпадает с 11-летним циклом солнечной активности. Периодами повышенной солнечной активности за исследуемый период, согласно данным о числах Вольфа [17], считаются 1967–1970, 1978–1981, 1989–1992, 1999–2001 гг. Именно на эти промежутки времени приходятся самые большие положительные отклонения по высоте снежного покрова. Периоды с пониженной солнечной активностью отмечались в 1963–1965, 1975–1977, 1986–1988, 1996–1998 гг. На эти отрезки времени приходятся как положительные, так и отрицательные аномалии, небольшие по абсолютной величине.

Увеличение средней за зиму высоты снежного покрова на большей части рассматриваемой территории не противоречит наблюдаемому потеплению климата, поскольку в этом регионе России в течение всей зимы преобладают очень низкие температуры приземного воздуха и даже при положительном тренде температуры число дней с температурой ниже нуля не сокращается. В более «мягкие» зимы наблюдается увеличение сумм атмосферных осадков, что часто связано с меньшей активностью сибирского антициклона и большей интенсивностью западно-восточного переноса, т.е. большим числом проходящих циклонических образований с системой фронтов, несущих осадки.

Аналогичная связь хорошо прослеживается при расчётах по климатическим моделям для середины XXI в., когда потепление особенно выражено и тем не менее происходит одновременное увеличение водного эквивалента снега в Сибири [1]. Причина этого – рост влагоёмкости тропосферы.

Образование устойчивого снежного покрова.

Характерные особенности в режиме снежного покрова – процессы его установления и разрушения. Снежный покров считается устойчивым, если он лежит непрерывно в течение всей зимы или не менее месяца с перерывом не более трёх дней подряд. За дату образования принимают первый день периода устойчивого снежного покрова, когда площадь видимой окрестности ГМС покрыта снегом на 50% и более [18]. Устойчивый снежный покров, согласно данным рассматриваемых ГМС, формируется в среднем 24 ноября. В отдельных случаях это происходит в декабре или даже в январе. Самое позднее установление снега зафиксировано на ГМС Сарма зимой 1960/61 г. – 11 января. В эту же зиму на всём побережье наблюдалось позднее образование снежного покрова – 21 декабря. Самая ранняя дата зафиксирована на ГМС Баргузинский заповедник в зиму 1970/71 г. (7 октября). Однако в среднем по территории минимум наблюдался в зиму 1972/73 г. (29 октября). Многолетняя амплитуда дат установления снежного покрова составила 53 дня, что показывает значительную изменчивость режима снежного покрова в регионе.

Рассмотрим детально вероятность различных отклонений в сроках образования устойчивого

Таблица 2. Число случаев отклонений сроков образования устойчивого снежного покрова от нормы за 1961–2009 гг.

Характер отклонений	Отклонения, дни						итого
	0–4	5–9	10–14	15–19	20–24	25–29	
Раньше	5	7	8	5	2	1	28
Позже	3	2	4	4	5	3	21
Сумма случаев	8	9	12	9	7	4	49
%	16	18	24	18	14	8	100

снежного покрова. Из табл. 2 видно, насколько большими могут быть различия в сроках установления снежного покрова. Чаще всего встречаются отклонения в 10–14 дней (24%), также велика повторяемость отклонений на 5–9 и 15–19 дней (18%). В некоторые годы отклонения от нормы составляют около месяца (8%). По осреднённым данным всех рассматриваемых ГМС к этим случаям относятся следующие зимы: 1960/61 г. – образование устойчивого снежного покрова 21 декабря; 1972/73 г. – 29 октября; 1983/84 г. – 19 декабря; 1995/96 г. – 20 декабря. Интересные результаты получены при анализе характера и степени межгодовой изменчивости сроков образования устойчивого снежного покрова на побережье Байкала (табл. 3). Она существенно превышает линейный тренд за исследуемый период, который равен 1,9 дней за 10 лет (рис. 3). При этом с 1960-х до середины 1980-х годов наблюдалась тенденция к более позднему образованию устойчивого снежного покрова, которая сменилась на обратную после зимы 1983/84 г. и сохранялась до конца столетия, т.е. дата образования устойчивого снежного покрова смещается к более ранним срокам.

Разрушение устойчивого снежного покрова. Разрушается устойчивый снежный покров на территории исследования в более короткие сроки, чем устанавливается. Согласно средним многолетним оценкам, происходит это 27 марта, что связано с быстрым ростом температуры воздуха в весенние месяцы, хотя иногда разрушение устойчивого снежного покрова может произойти только в мае. Самое позднее разрушение покрова зафиксировано на ГМС Баргузинский заповедник в зиму 1961/62 г. (13 мая), самое раннее – на станциях западного побережья Байкала в зиму 1966/67 г. (27 февраля). Отметим некоторые различия в разрушении устойчивого снежного покрова в Прибайкалье. Так, станции, расположен-

Таблица 3. Межгодовые различия в датах установления снежного покрова (фрагмент таблицы)

Годы	Предшествующая зима	Последующая зима	Различие, дни
	дата образования устойчивого снежного покрова	дата образования устойчивого снежного покрова	
1960/61	21 декабря	8 ноября	43
1971/72	26 ноября	29 октября	28
1972/73	29 октября	10 декабря	42
1982/83	16 декабря	19 декабря	3
1983/84	19 декабря	7 декабря	12
1994/95	15 ноября	20 декабря	35
1995/96	20 декабря	19 ноября	31

ные на восточном берегу, имеют более поздние сроки разрушения устойчивого снежного покрова, чем станции западного побережья. На восточном побережье высота снежного покрова намного больше, чем на западном. Это связано с атмосферно-циркуляционными условиями на территории, где преобладает северо-западное направление переноса воздушных масс. В среднем амплитуда дат разрушения устойчивого снежного покрова составляет 28 дней, причём на станциях восточного побережья она меньше, чем на станциях западного побережья.

Средняя дата разрушения устойчивого снежного покрова за исследуемый период (1961–2009 гг.) на станциях восточного побережья – 23 апреля, на станциях западного побережья – 19 марта. На станциях восточного побережья отклонения от среднего невелики и составляют не более 15 дней, а на станциях западного побережья отклонения достигали почти одного месяца: зимой 2007/08 г. разрушение устойчивого снежного покрова произошло раньше среднего (27 февраля), а зимой 1985/86 г. – позже среднего многолетнего срока (17 апреля). Отклонения в датах разрушения устойчивого снежного покрова в основном незначительны по сравнению с датами установления снежного покрова (табл. 4). На ГМС западного побережья Прибайкалья отклонения больше, чем на ГМС восточного побережья. Максимальная повторяемость отклонений – на 0–4 дня – наблюдается в обеих группах ГМС (50%). Чуть реже встречаются сдвиги в 5–9 дней: на 44% на ГМС восточного побережья и на 29% на ГМС западного побережья. Количество более длительных отклонений незначитель-

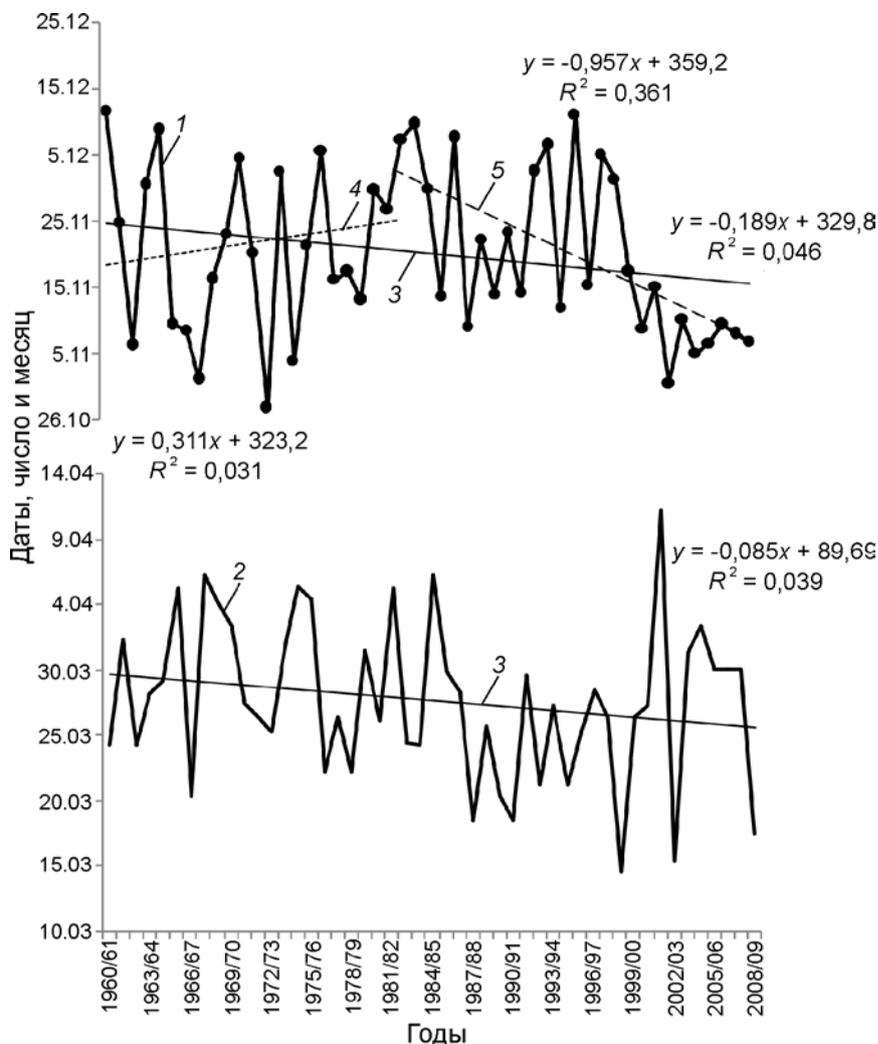


Рис. 3. Многолетние изменения характеристик устойчивого снежного покрова: 1 – дат установления; 2 – дат схода; линии тренда: 3 – за 1961–2009 гг., 4 – за 1961–1985 гг., 5 – за 1986–2009 гг.

Fig. 3. Long-term changes of snow characteristics: 1 – date of setting-up of snow cover; 2 – date of snow cover loss; trend lines: 3 – for 1961–2009, 4 – for 1961–1985, 5 – for 1986–2009.

Таблица 4. Число случаев отклонений сроков разрушения устойчивого снежного покрова от нормы за 1961–2009 гг.

Характер отклонения	Отклонения по данным метеостанций восточного побережья (числитель) и западного побережья (знаменатель), дни				
	0–4	5–9	10–14	15–19	20 и более
Раньше	10/11	10/9	1/2	1/2	0/1
Позже	14/12	11/5	1/3	0/2	0/1
Сумма случаев	24/23	21/14	2/5	1/4	0/2
%	50/48	44/29	4/10	2/8	0/4

но. Многолетние тенденции изменения сроков разрушения снежного покрова отрицательны (в среднем 0,9 дней/10 лет), хотя статистически незначимы (см. рис. 3).

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова. Продолжительность залегания снежного покрова в различных физико-географических районах и местностях — одна из важных

его характеристик, информация о которой широко используется не только при решении научно-прикладных задач, но и в оперативной практике. Прибайкалье относится к числу районов России с устойчивым снежным покровом. При средней по региону дате его образования 24 ноября и разрушении 27 марта продолжительность периода его залегания в среднем составляет 138 дней. Наиболее короткий период залегания снежного покрова — на ГМС Хужир (106 дней), также небольшая продолжительность на ГМС Сарма (107 дней) и Солнечная (109 дней). Наиболее длинный период отмечается на ГМС Баргузинский заповедник (194 дня), почти такой же — в Байкальске (181 день). Очаги наибольшей продолжительности залегания устойчивого снежного покрова соответствуют районам, где в течение зимы в результате различных причин накапливается наибольшее количество снега.

Таблица 5. Продолжительность залегания снежного покрова по градациям за 1961–2009 гг.

Параметры	Метеостанции восточного побережья (числитель) и западного побережья (знаменатель)		Среднее по Прибайкалью	
	число зим	%	число зим	%
Градации продолжительности, дни				
< 100	0/4	0/8	0	0
101–110	0/5	0/10	0	0
111–120	0/6	0/13	6	13
121–130	0/14	0/29	6	13
131–140	0/10	0/21	15	31
141–150	0/7	0/15	13	27
151–160	2/1	4/2	7	15
161–170	7/1	15/2	0	0
171–180	17/0	35/0	1	2
181–190	19/0	40/0	0	0
191–200	3/0	6/0	0	0
Общее число зим	48/48	100/100	48	100
Продолжительность дни:				
максимальная	197(2000–2001 гг.)/165(2000–2001 гг.)		174(2000–2001 гг.)	
минимальная	152(1983–1984 гг.)/88(1971–1972 гг.)		111(1971–1972 гг.)	

Изменчивость продолжительности залегания снежного покрова, как и даты установления и разрушения его, испытывают в Прибайкалье значительные колебания. На основании ежегодных данных о продолжительности залегания устойчивого снежного покрова определена вероятность зим разной продолжительности как в целом по региону, так и по отдельным побережьям (табл. 5). Установлено, что минимальная продолжительность наблюдается на западном побережье Байкала (менее 100 дней), максимальная – на восточном (до 200 дней). Это связано с высотой снежного покрова: на ГМС восточного побережья она значительно больше, чем на западном, из-за особенностей рельефа и перемещения воздушных масс с запада. По региону абсолютный минимум продолжительности залегания снежного покрова составляет 111 дней и отмечен зимой 1971/72 г. Для этого же периода характерен минимум на западном побережье (88 дней), а вот на восточном минимум отмечен зимой 1983/84 г. (152 дня). Абсолютный максимум достигнут в зиму 2000/01 г. и составил 174 дня. И на восточном (197 дней), и на западном (165 дней) побережьях Байкала максимумы отмечаются в эту же зиму.

На восточном побережье Байкала чаще всего встречались зимы с продолжительностью залегания

устойчивого снежного покрова 181–190 дней (40%), а на западном побережье – зимы с продолжительностью 121–130 дней (29%). В среднем по побережью чаще всего были зимы с продолжительностью залегания устойчивого снежного покрова 131–140 дней (31%). Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом была максимальной в последнем десятилетии (2001–2009 гг.) и минимальной в 1991–2000 гг., отличаясь почти на +9 и –4 дня соответственно от нормы, что связано со сроками установления и схода устойчивого снежного покрова (рис. 4).

Влияние температуры воздуха и сумм атмосферных осадков холодного периода на характеристики снежного покрова. При наличии достоверного прогноза температуры воздуха можно на его основе вычислять ход других параметров, в том числе и продолжительность залегания снежного покрова. Тенденции изменения температуры воздуха в течение холодного периода (октябрь–апрель) в среднем по побережью положительны за исследуемый период и составляют 0,42 °С за 10 лет при $R^2 = 22\%$. Изменение сумм атмосферных осадков холодного периода статистически не значимо: 0,98 мм за 10 лет при $R^2 = 1\%$ (см. рис. 4). Согласно результатам корреляционного анализа (табл. 6), линейная связь между температурой воздуха и высотой

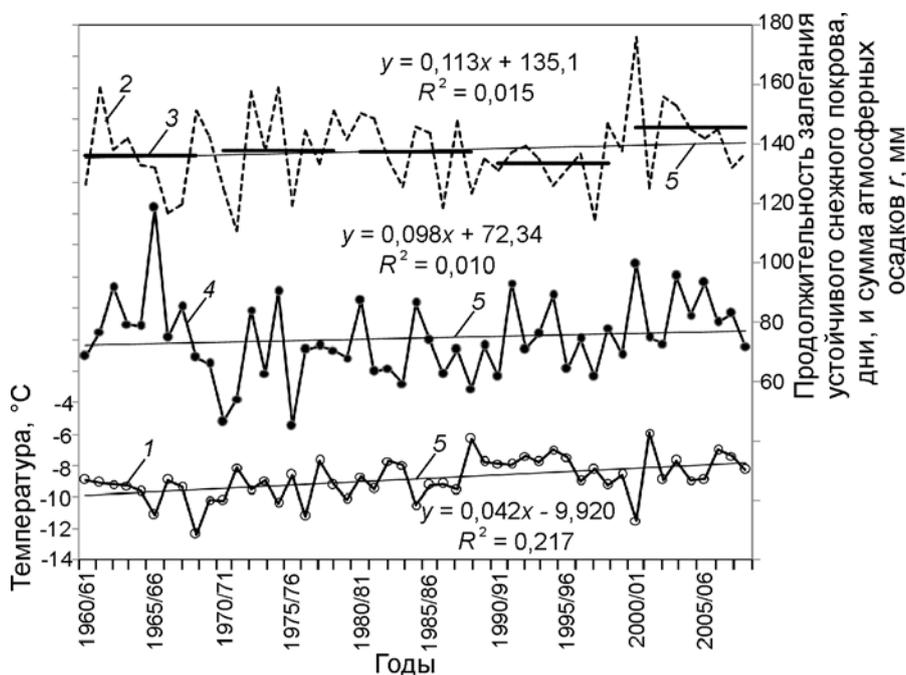


Рис. 4. Многолетние изменения средней за октябрь–апрель температуры воздуха (1), продолжительности залегания устойчивого снежного покрова (2 – ежегодные значения, 3 – среднее за 10 лет), сумм атмосферных осадков за октябрь–апрель (4) и линейные тренды климатических характеристик (5) на побережье оз. Байкал

Fig. 4. Long-term changes in the cold season average (October–April) air temperature (1), duration of stable snow cover (2 – annual values, 3 – 10-years average), total cold season precipitation (October–April) (4) and linear trends of climatic characteristics (5) for the coast of Lake Baikal

Таблица 6. Зависимость высоты снежного покрова от климатических характеристик (коэффициент корреляции)

Метеостанции	Месяц						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
<i>Температура воздуха</i>							
Баргузинский заповедник	-0,16	-0,51	-0,21	-0,18	0,13	0,07	-0,38
Сарма	-0,21	-0,27	0,16	-0,10	0,02	0,03	0,00
Узур	-0,27	-0,52	-0,16	-0,23	0,04	0,12	-0,02
Хужир	-0,42	-0,29	0,07	0,01	-0,11	0,04	0,02
Байкальск	-0,50	-0,60	-0,41	-0,41	-0,11	-0,20	-0,38
Еланцы	-0,30	-0,35	0,02	-0,06	-0,01	-0,37	-0,34
Култук	-0,43	-0,30	0,05	-0,06	-0,08	-0,07	0,06
Большое Голоустное	-0,11	-0,30	-0,17	-0,18	0,17	-0,20	-0,63
Большой Ушканий	-0,49	-0,56	-0,29	-0,35	-0,07	-0,21	-0,39
Исток Ангары	-0,39	-0,22	-0,30	-0,35	-0,33	0,09	0,10
Солнечная	-0,43	-0,31	0,06	-0,08	-0,26	-0,16	-0,61
<i>Сумма атмосферных осадков</i>							
Баргузинский заповедник	0,78	0,64	0,34	0,27	0,05	0,00	0,37
Сарма	0,13	0,54	0,57	-0,14	-0,13	0,40	0,04
Узур	0,35	0,68	0,53	0,31	0,09	0,44	0,09
Хужир	0,30	0,63	0,59	0,13	0,03	0,53	0,67
Байкальск	0,60	0,73	0,64	0,27	0,52	0,22	0,03
Еланцы	0,37	0,52	0,59	0,16	0,44	0,75	0,50
Култук	0,34	0,73	0,69	0,43	0,31	0,70	0,47
Большое Голоустное	0,16	0,87	-0,10	0,24	0,40	0,40	0,14
Большой Ушканий	0,72	0,89	0,56	0,23	0,33	0,50	-0,05
Исток Ангары	0,24	0,33	0,47	0,10	0,18	0,31	-0,22
Солнечная	0,23	0,68	0,45	0,00	0,58	0,65	0,16

Серые ячейки – статистически значимый коэффициент корреляции ($p < 0,05$).

снежного покрова на большинстве ГМС в течение зимних месяцев незначительна, а зависимость обратно пропорциональна. Наибольшие статистически значимые ($p < 0,05$) коэффициенты корреляции отмечены в начале холодного периода года (октябрь $-0,42 \div -0,50$, ноябрь $-0,51 \div -0,60$) и в апреле ($-0,38 \div -0,63$). Прямо пропорциональная зависимость между атмосферными осадками и высотой снежного покрова очевидна: чем больше осадков, тем больше высота снежного покрова в условиях отрицательных температур воздуха. Как и у температуры воздуха, максимальные значимые коэффициенты приходятся на начало (до 0,89) и конец (0,33–0,51) холодного периода, а отсутствие значимых связей наблюдается в середине зимы.

Выводы

Тенденции изменения высоты снежного покрова на побережье оз. Байкал в XX в. положительны, но первое десятилетие XXI в., наоборот, характеризуются отрицательными трендами. Максимальная декадная высота снежного покрова (60–86 см) зафиксирована на метеорологических станциях восточного побережья при средней многолетней величине 25–35 см. На метеорологических станциях западного побережья, за исключением ГМС Сарма, наибольшая декадная высота снежного покрова не превы-

шает 30–40 см при средней многолетней высоте 2–6 см. С увеличением расстояния между станциями согласованность изменений высоты снежного покрова уменьшается, что подтверждается значениями коэффициентов корреляции, изменяющимися от 0,98 до 0,25.

В периоды повышенной солнечной активности наблюдаются наибольшие положительные отклонения высоты снежного покрова. При пониженной солнечной активности фиксируются как положительные, так и отрицательные аномалии, небольшие по абсолютной величине.

На побережье оз. Байкал средняя за период 1961–2009 гг. дата образования устойчивого снежного покрова – 24 ноября, а дата разрушается – 27 марта (23 апреля – на восточном побережье, 19 марта – на западном). После 1980-х годов наметилась тенденция смещения дат установления и разрушения снежного покрова на более ранние сроки. Средняя многолетняя продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в регионе равна 138 дням: на восточном побережье – 178 дней, на западном – 126 дней.

На исследуемой территории существует четкая тенденция к увеличению средней зимней температуры воздуха и незначительному изменению сумм осадков за холодный период. Установлена линейная зависимость продолжительности залегания устойчивого снежного покрова от средней температуры воздуха за холодный период и сумм атмосферных осадков.

Литература

1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Под ред. В.В. Ясюкевич, В.А. Говорковой, И.А. Корневой, Т.В. Павловой, Е.Н. Поповой. М.: изд. Росгидромета, 2014. 1009 с.
2. Китаев Л.М., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А. Пространственные особенности взаимодействия параметров климата и снежного покрова севера Евразии // Криосфера земли. 2001. Т. VII. № 4. С. 82–91.
3. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Пространственная и временная изменчивость толщины и плотности снежного покрова на территории России // Лёд и Снег. 2014. № 4 (128). С. 72–80. doi: 10.15356/2076-6734-2014-4-72-80.
4. Попова В.В., Полякова И.А. Изменение сроков разрушения устойчивого снежного покрова на севере Евразии в 1936–2008 гг.: влияние глобального по-

Reference

1. The Second Assessment Report on climate change and their impact on the territory of the Russian Federation. Ed. V.V. Yasukevich, V.A. Govorkova, I.A. Korneva, T.V. Pavlova, E.N. Popova. M.: Roshydromet, 2014: 1009 p. [In Russian].
2. Kitaev L.M., Razuvaev V.N., Martuganov R.A. Spatial features of the interaction of climate parameters and snow of northern Eurasia. *Kriosfera Zemli*. Earth Cryosphere. 2001, 7 (4): 82–91. [In Russian].
3. Osokin N.I., Sosnovsky A.V. Spatial and temporal variability of depth and density of the snow cover in Russia. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2014, 4 (128): 72–80. doi: 10.15356/2076-6734-2014-4-72-80. [In Russian].
4. Popova V.V., Polyakova I.A. Change of stable snow cover destruction dates in Northern Eurasia, 1936–2008: impact of global warming and the role of large-scale atmospheric circulation. *Led i Sneg*. Ice and Snow.

- тепления и роль крупномасштабной атмосферной циркуляции // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 29–39. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-29-39.
5. Groisman P.Ya., Tomas R.K., Knight R.W. Observed impact of snow cover on the heat balance and the rise of continental spring temperatures // Science. 1994. № 14. 263 p.
 6. Коныгин Е.А. Изменчивость распространения сезонного снежного покрова на территории СССР // Тр. Гидрометцентра. 1990. Вып. 304. С. 92–95.
 7. Кренке А.Н., Китаев Л.М., Турков Д.В. Климатическая роль изменений снежного покрова в период потепления // Изв. РАН. Сер. геогр. 2001. № 4. С. 44–51.
 8. Мещерская А.В., Белянкина И.Г., Голод М.П. Мониторинг толщины снежного покрова в основной зернопроизводящей зоне бывшего СССР за период инструментальных наблюдений // Изв. РАН. Сер. геогр. 1996. № 4. С. 71–78.
 9. Радионов В.Ф., Брызгин Н.Н., Александров Е.И. Снежный покров в Арктическом бассейне. Л.: Гидрометеоздат, 1996. 124 с.
 10. Groisman P.Ya., Knight R.W., Razuvaev V.N., Bulygina O.N. Climatology and changes during the past 69 years over northern Eurasia for a rarely used measure of snow cover and frozen land // Journ. of Climate. 2006. № 1. P. 4933–4953.
 11. Осokin Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р. О влиянии изменчивости параметров снежного покрова на промерзание грунта // Лёд и Снег. 2015. № 2 (130). С. 60–68. doi: 10.15356/2076-6734-2015-2-60-68.
 12. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // Лёд и Снег. 2014. № 3 (127). С. 39–49. doi: 10.15356/2076-6734-2014-3-39-49.
 13. Трофимова И.Е., Бальбина А.С. Мониторинг температуры почвы и толщины снежного покрова на территории Иркутской области // Лёд и Снег. 2012. № 1 (117). С. 62–68.
 14. Шмакин А.Б., Осokin Н.И., Сосновский А.В., Зазовская Э.П., Борзенкова А.В. Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене // Лёд и Снег. 2013. № 4 (124). С. 52–59. doi: 10.15356/2076-6734-2013-4-52-59.
 15. Воропай Н.Н., Гагаринова О.В., Ильичева Е.А., Бальбина А.С., Кичигина Н.В., Максютова Е.В., Осипова О.П. Гидроклиматические исследования Байкальской природной территории / Отв. ред. Л.М. Корытный. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. 188 с.
 16. Бояркин В.М. География Иркутской области. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1995. 198 с.
 17. <http://solar-flux.narod.ru/Index.htm> - интернет-ресурс
 18. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 300 с.
 - 2013, 2 (122): 29–39. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-29-39. [In Russian].
 5. Groisman P.Ya., Tomas R.K., Knight R.W. Observed impact of snow cover on the heat balance and the rise of continental spring temperatures. Science. 1994, 14: 263 p.
 6. Konygin E.A. Variability of the spread of seasonal snow cover on the USSR territory. Trudy Gidromettsentra. Proc. of the Hydrometeorological Research Centre of the Russian Federation. 1990, 304: 92–95. [In Russian].
 7. Krenke A.N., Kitaev L.M., Turkov D.V. Climatic role of the snow cover change in the warming period. Izvestiya Ross. Akad. Nauk, Seriya Geogr. Proc. of the RAS, Geographical Series. 2001, 4: 44–51. [In Russian].
 8. Meshcherskaya A.V., Belyankina I.G., Golod M.P. Monitoring of the snow cover thickness in the main grain-producing area of the former USSR in the instrumental observations period. Izvestiya Ross. Akad. Nauk, Seriya Geogr. Proc. of the RAS, Geographical Series. 1996, 4: 71–78. [In Russian].
 9. Radionov V.F., Bryazgin N.N., Alexandrov E.I. Snezhnyi pokrov v Arkticheskom bassejne. Snow cover in the Arctic basin. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1996: 124 p. [In Russian].
 10. Groisman P.Ya., Knight R.W., Razuvaev V.N., Bulygina O.N. Climatology and changes during the past 69 years over northern Eurasia for a rarely used measure of snow cover and frozen land. Journ. of Climate. 2006, 1: 4933–4953.
 11. Osokin N.I., Sosnovskiy A.V., Nakalov P.R. On the influence of variability of snow cover parameters to the ground freezing. Led i Sneg. Ice and Snow. 2015. 2 (130). P. 60–68. doi: 10.15356/2076-6734-2015-2-60-68. [In Russian].
 12. Popova V.V., Shiryayeva A.V., Morozova P.A. Snow cover setting-up dates in the north of Eurasia: relations and feedback to the macro-scale atmospheric circulation. Led i Sneg. Ice and Snow. 2014, 3 (127): 39–49. doi: 10.15356/2076-6734-2014-3-39-49 [In Russian].
 13. Trofimova I.E., Balybina A.S. Monitoring of soil temperature and snow cover depth in the Irkutsk Region. Led i Sneg. Ice and Snow. 2012, 1 (117): 62–68. [In Russian].
 14. Shmakin A.B., Osokin N.I., Sosnovsky A.V., Zazovskaya E.P., Borzenkova A.V. Influence of snow cover on the soil freezing and thawing in the West Spitsbergen. Led i Sneg. Ice and Snow. 2013, 4 (124): 52–59. doi: 10.15356/2076-6734-2013-4-52-59. [In Russian].
 15. Voropay N.N., Gagarinova O.V., Il'icheva E.A., Balybina A.S., Kichigina N.V., Maksyutova E.V., Osipova O.P. Gidroklimaticheskie issledovaniya Baykal'skoy prirodnoy territorii. Hydroclimatic studies of the Baikal natural territory. Ed. L.M. Korytnyi. Novosibirsk: GEO, 2013: 188 p. [In Russian].
 16. Boyarkin V.M. Geografiya Irkutskoy oblasti. Geography of Irkutsk region. Irkutsk, 1995. 198 p. [In Russian].
 17. <http://solar-flux.narod.ru/Index.htm>
 18. Manual for hydrometeorological stations and posts. V. 3. Pt. 1. Meteorological observations at the stations. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985: 300 p. [In Russian].