

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛАВИНЫ

УДК 556; 551.573

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ИСПАРЕНИЕМ С ПОВЕРХНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ НИС “ЛЕДОВАЯ БАЗА “МЫС БАРАНОВА” (СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ)

© 2025 г. Н. Л. Секисов¹, И. И. Василевич^{1,*}, И. Л. Калюжный²

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: vasilevich@aari.ru

Поступила в редакцию 22.01.2025 г.

После доработки 21.04.2025 г.

Принята к публикации 26.06.2025 г.

Приведены результаты инструментальных наблюдений за испарением с поверхности снежного покрова на архипелаге Северная Земля в районе НИС “Ледовая база “Мыс Баранова” весной 2024 г. За период наблюдений величина испарения не превышает 7.76 мм. Восстановление пропусков инструментальных наблюдениях по методу П.П. Кузьмина даёт величину испарения 19.2 мм влаги, путём линейной интерполяции 12.4 мм или 11.7% от общих снегозапасов.

Ключевые слова: испарение, сублимация, снежный покров, методы измерения и расчета, Арктика, Северная Земля

DOI: 10.7868/S2412376525030051

ВВЕДЕНИЕ

Испарение со снежного покрова — важная составляющая водного и теплового баланса снежной толщи. В южных районах России на процесс испарения может расходоваться до 30% запасов воды в снеге, для северных районов нет аналогичных оценок, но недоучёт приводит к некорректной оценке запасов воды в снеге. На основе метеорологических данных А.С. Постников (Постников, 2016) выполнил оценку испарения со снега в северных районах России. Для западной части Новой Земли его годовая величина составляет около 50 мм. Модельные оценки испарения в Арктике могут составлять от 10 до 50% (Liston, Sturm, 2004) от объёма осадков за холодный период, для горных районов — 10–90% (Strasser et al., 2008). Установлено, что в суровых условиях на ледниках Гималаев (Stigter et al., 2018; Mandal et al., 2022), а также в Центральной Якутии (Теплофизика..., 1979) происходит испарение (сублимация) снежного покрова. Аналогичные наблюдения проводятся в районах Аляски (Spehlmann et al., 2023) и Колорадо (Reba et al., 2012; Sexstone et al., 2018), а также на водно-балансовых станциях Росгидромета,

расположенных преимущественно в умеренных широтах (Калюжный, 2022).

Инструментальные наблюдения за испарением со снега в условиях Арктики, в том числе и на островах “архипелага Северная Земля”, полностью отсутствуют. Цель работы — определить инструментальным путём величины испарения за предвесенний и весенний периоды года на архипелаге Северная Земля, а также углубить наши знания о процессе формирования испарения со снега и усовершенствовании методики определения и расчёта этой составляющей водного баланса.

ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ИСПАРЕНИЕМ СО СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ЗЕМЛИ

Наблюдения за испарением со снежного покрова в предвесенний и весенний периоды были проведены на архипелаге Северная Земля (район НИС “Мыс Баранова”, 79°17' N, 101°37' E). Снегоиспарительная площадка располагалась на расстоянии 485 м от метеостанции. Поверхность площадки представляет собой очень пологий

склон арктической пустыни, расположенной на высоте около 13 м над ур. моря.

Удаление от метеостанции снегоиспарительной площадки объясняется устранением антропогенного воздействия станции и её построек на снежный покров. При этом показатели основных факторов, обуславливающих процесс испарения со снега, в районе метеостанции и снегоиспарительной площадки должны быть близки между собой. Оценка коэффициента корреляции температуры поверхности снега на метеостанции и снегоиспарительной площадке в идентичные сроки наблюдений (на метеоплощадке в 8 часов, снегоиспарительной площадке — 9 часов) даёт величину 0.999. В дневные часы (на метеоплощадке в 20 часов, снегоиспарительной площадке в 21 час) он равен 0.948. Коэффициенты корреляции, близкие к единице, свидетельствуют о высоком соответствии метеорологических характеристик, наблюдаемых на метеостанции и снегоиспарительной площадке.

Величину испарения с поверхности снежного покрова оценивали весовым методом, два раза в сутки. Для этого на площадке располагалось два испарителя ГГИ-500-6 и электронные весы М-ER 326AFU-15.1. Температуру поверхности снега измеряли электронным термометром GTN 175/Rt. От лёгкого позёмка площадка с испарителями защищена капроновой сеткой с ячейками 1.5×1.5 мм и высотой 3 см. Согласно работе (Калужный, 2022), высота защиты не должна превышать 7.0 см. На рис. 1 приведён общий вид площадки с установленными испарителями.

В начале производства работ поверхность снега представляла собой ветровую доску, состоящую из плотного мелкозернистого снега. Высота снежного покрова в районе площадки в начале наблюдений составила 20 см при средней плотности снега 0.34 г/см^3 . Запас воды в снеге был равен 68 мм. Наблюдения за испарением со снега производили два раза в сутки, в ночной и дневной сроки. Весь комплекс работ по определению



Рис. 1. Снегоиспарительная площадка с установленными на ней испарителями ГГИ-500-6. Процесс измерения температуры поверхности снежного покрова

Fig. 1. Snow sublimation site with installed GGI-500-6 evaporators. The process of measuring the temperature of the snow cover surface

испарения со снега регламентирован Методическими рекомендациями, принятыми в системе Росгидромета (Методические..., 1991).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения были начаты 16 апреля 2024 г. и ежедневно продолжались до 12 июня, т.е. 59 суток. За этот период было выполнено 36 полноценных полусуточных и суточных измерений величин испарившейся (сублимированной) влаги, что составляет 61% от продолжительности периода наблюдений. В табл. 1 приведён образец записи результатов полевых наблюдений за испарением с поверхности снега. Суточная величина испарения определяется как среднее из показаний двух испарителей с учётом времени экспозиции приборов. В период наблюдений с 16 апреля по 31 мая наблюдения производились в два срока. Время экспозиции приборов, каждого полусуток, составляло 12 часов. Но с 1 июня, из-за увеличения интенсивности снеготаяния и появления воды на дне прибора, экспозиция приборов в дневной период наблюдения составляла два временных отрезка по 6 часов каждый

(пример см. в табл. 1, 9 июня), в ночное время её продолжительность 12 часов.

Согласно требованиям работы (Методические..., 1991), полученные результаты оценены с позиции их надёжности. С этой целью построен график корреляционной взаимозависимости между измеренными величинами испарения двух парных испарителей. При этом, если показания параллельно работающих испарителей значительно различались между собой из-за низкого качества наблюдений, то они исключались из дальнейшего рассмотрения. Например, забракованы результаты наблюдений за 3 мая (за дневной срок, показание по испарителю № 1 –0.56 мм и по испарителю № 2 +3.5 мм), данные за 22 апреля (дневные –0.16 и –0.72 мм), 4 мая (ночные –0.16 и 4.38 мм), 7 июня (ночные –2.08 и 4.64 мм) и другие. Критический анализ позволил отобрать результаты наблюдений, на основании которых построена взаимозависимость наблюдений по двум испарителям (рис. 2). Коэффициент взаимной корреляции показаний двух испарителей равен 0.943 при среднеквадратическом отклонении 0.019 мм. Зависимость значима с 95%-ным уровнем надёжности.

Таблица 1. Примеры обработки результатов инструментальных наблюдений за испарением со снежного покрова в предвесенний и весенний периоды

Дата	Время начала работ, час	Прибор, номер	Экспозиция прибора, час	Испарение за период экспозиции, мм		Интенсивность, мм/час	Суточная величина испарения, мм/сут	Температура, °С
				Прибор	Среднее			
17 апреля	9	1	12	0.04	0.04	0.003	–0.01	–30.3
		2	12	0.04		0.003		
	21	1	12	–0.04	–0.05	–0.003		–24.4
		2	12	–0.06		–0.005		
18 апреля	9	1	12	0.04	0.04	0.003	0.01	–24.3
		2	12	0.04		0.003		
	21	1	12	–0.04	–0.03	0.003		–28.1
		2	12	–0.02		0.002		
09 июня	9	1	6	0.04	0.07	0.006	0.99	+5.9
		2	6	0.10		0.017		
	15	1	6	0.62	0.44	0.103		
		2	6	0.26		0.043		
	21	1	12	0.58	0.48	0.048		
		2	12	0.38		0.032		

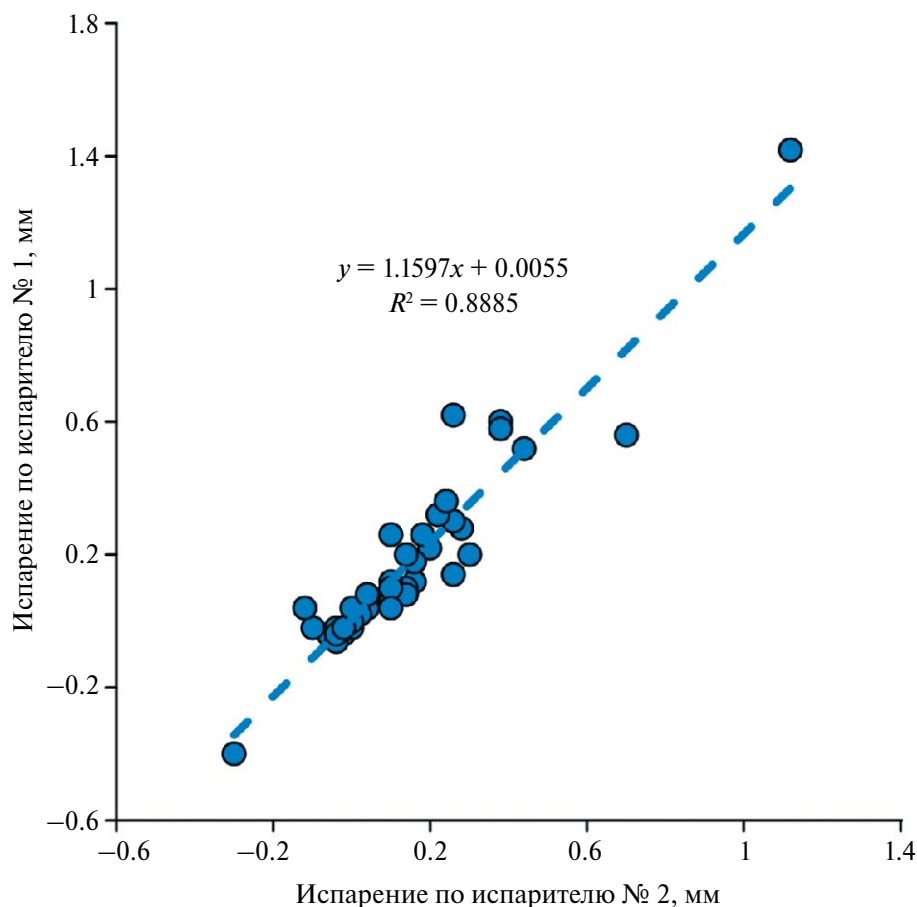


Рис. 2. Взаимная согласованность параллельных наблюдений за испарением со снежного покрова двух испарителей, установленных на снегоиспарительной площадке

Fig. 2. Mutual consistency of parallel observations of snow sublimation from two evaporimeters installed on a snow sublimation site

Совмещённый хронологический график сумм испарения, разности значений парциального давления водяного пара (разность между парциальным давлением пара по температуре поверхности снега и его парциальным давлением в воздухе) и скорости ветра (рис. 3) показывает достаточно высокую синхронность их хода с определяющими факторами.

При температуре от -30 до -10 °C испарение (конденсация) не превышает ± 0.01 мм/сут. В предвесенний период интенсивность испарения изменялась в пределах от -0.0007 до 0.0005 мм/час. В мае среднее значение достигло 0.0088 мм/час. Весной при снеготаянии интенсивность возрастает до 0.021 мм/час, а наибольшее его значение увеличивается до 0.0596 мм/час.

Результаты наблюдений в районе метеостанции НИС “Ледовая база “Мыс Баранова” за испарением со снежного покрова и температурой воздуха в приземном слое приведены в табл. 2 и 3.

Во второй половине апреля и до конца месяца среднесуточная величина испарения составила -0.02 мм/сут. Среднесуточное значение в мае достигло 0.21 мм/сут. Интенсивность испарения значительно возросла за период снеготаяния, с 1 по 12 июня, и в среднем составила 0.51 мм/сут. Этому способствовал возросший приход тепла, при котором среднесуточная температура поднялась до 0.0 °C и несколько выше. Поверхность снежного покрова становится влажной и покрытой квазижидкой плёнкой до схода снега 12 июня.

В предвесенний период интенсивность испарения изменялась в диапазоне от -0.0007 до 0.009 мм/час, в мае среднее значение достигло 0.009 мм/час. При снеготаянии средняя за сутки интенсивность возрастает до 0.011 мм/час, а наибольшее его значение увеличивается до 0.026 мм/час. За предвесенний и весенний периоды со снежного покрова испарилось 7.76 мм влаги. Испарение весной, в период интенсивного

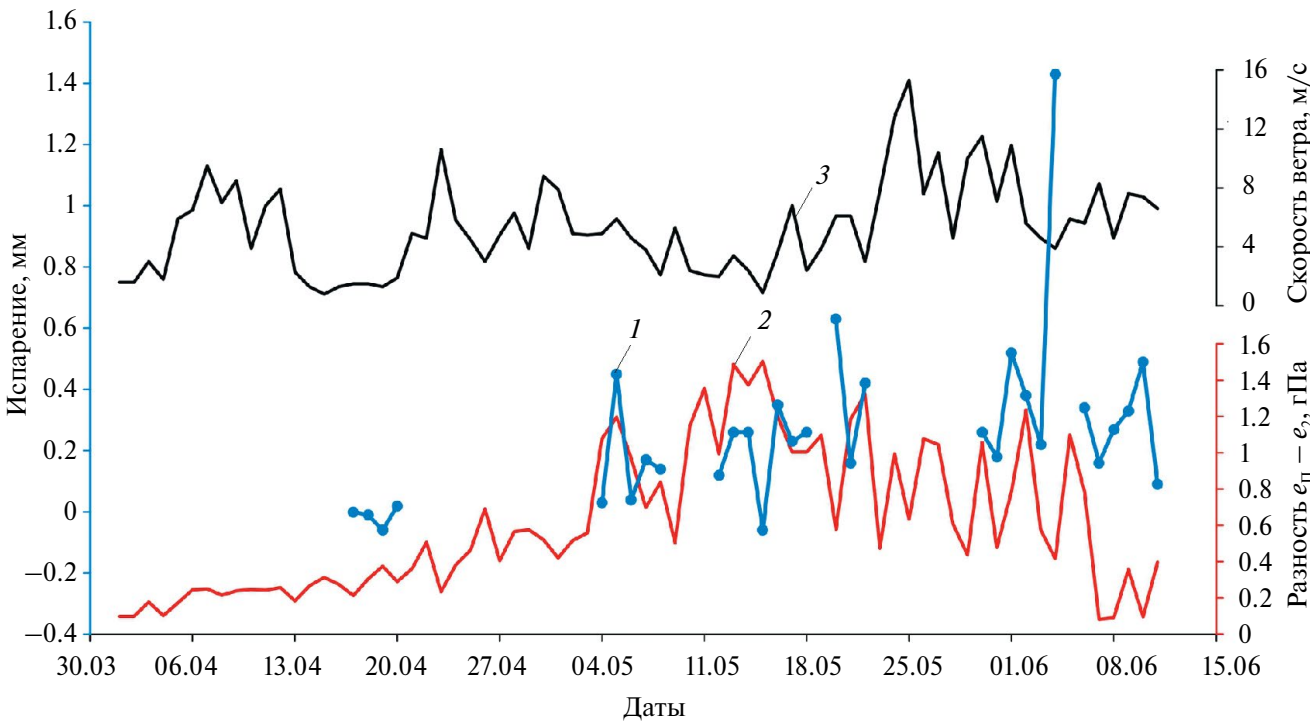


Рис. 3. Совмещённый хронологический график испарения с поверхности снега, разности значений парциального давления водяного пара и скорости ветра: 1 – инструментально измеренное испарение с поверхности снежного покрова; 2 – разность давления насыщения водяного пара по температуре поверхности снежного покрова и парциального давления водяного пара; 3 – среднесуточная скорость ветра

Fig. 3. Combined chronological chart of snow surface sublimation, differences in partial water vapor pressure values, and wind speed: 1 – instrumentally measured sublimation from the snow surface; 2 – difference between saturation vapor pressure based on the snow surface temperature and partial water vapor pressure; 3 – average daily wind speed

Таблица 2. Средние величины инструментальных наблюдений за испарением с поверхности снежного покрова, в ночной и дневной периоды, в районе метеостанции НИС “Ледовая база “Мыс Баранова”

Дата	Средние величины испарения, мм		
	Ночной период	Дневной период	Сутки
Апрель, с 01 по 15-е	±0.01	±0.01	±0.01
Апрель, с 16 по 30-е	−0.05	0.03	−0.02
Май, с 01 по 31-е	0.02	0.19	0.21
Июнь, с 01 по 12-е	0.26	0.27	0.51

Таблица 3. Осреднённые результаты инструментальных наблюдений за испарением с поверхности снежного покрова в районе метеостанции НИС “Ледовая база “Мыс Баранова”

Дата	Испарение, мм			Средняя температура воздуха, °С	Осадки, мм
	Сумма	Наибольшее суточное	Наименьшее суточное		
Апрель, с 1 по 15	±0.01	+0.01	−0.01	−26.3	10.0
Апрель, с 16 по 30	−0.05	0.02	−0.06	−18.0	3.60
Май, с 1 по 31	3.67	0.63	−0.06	−6.6	19.6
Июнь, с 1 по 12	4.14	1.43	0.16	0.00	4.50
Сумма, мм	7.76	—	—	—	37.7

таяния снега, составляет более 53% от общего за период наблюдений.

В работе (Теплофизика..., 1979) показано, что в суровые зимы в Центральной Якутии (декабрь, январь) может наблюдаться как испарение, так и конденсация. Но интенсивность этих процессов мала и сравнима с погрешностью их определения. Суммарное испарение с поверхности снега за зимний период в основном определяется продолжительностью снеготаяния (апрель и частично март), при котором испаряется 87–97% от суммы за зиму. В период таяния интенсивность испарения, за счёт адвекции тепла, может достигать 2.0–2.5 мм/сут. Аналогичные максимальные значения наблюдаются и на НИС “Мыс Баранова”.

На рис. 4 приведена динамика суммарной солнечной радиации и возрастания величин испарения со снега по данным инструментальных наблюдений. Наблюдается зависимость испарения от суммарной солнечной радиации. Коэффициент корреляции её низкий, что свидетельствует о воздействии на процесс испарения ряда других факторов.

По данным метеостанции НИС “Мыс Баранова”, за период, предшествующий снеготаянию,

с 1 по 15 апреля, при средней суточной температуре -26.3°C испарение и конденсация влаги были близки к нулевым значениям.

Анализ таблицы показывает, что главным препятствием при проведении наблюдений за испарением служат практически постоянно действующие ветры. В первой половине апреля ветровая деятельность, при среднесуточной скорости ветра 4.6 м/с, наблюдалась ежедневно, сопровождалась сильными позёмками и метелью с осадками. Ветры усиливались до июня, среднесуточная скорость ветра составила 6.1 м/с. Возникают существенные пропуски в наблюдениях, как в полусуточных, так и суточных интервалах экспозиции приборов.

В системе Росгидромета пропуски в наблюдениях ликвидируются по методу П.П. Кузьмина (Кузьмин, 1953). Согласно (Методические..., 1991, Приложение 14), учитывая недостаточное число наблюдений за испарением со снежного покрова, мы применили обобщённую на основании данных 25 сетевых станций формулу П.П. Кузьмина в виде

$$E = (0.18 + 0.10U_{10}) \times (e_{\text{П}} - e_2), \quad (1)$$

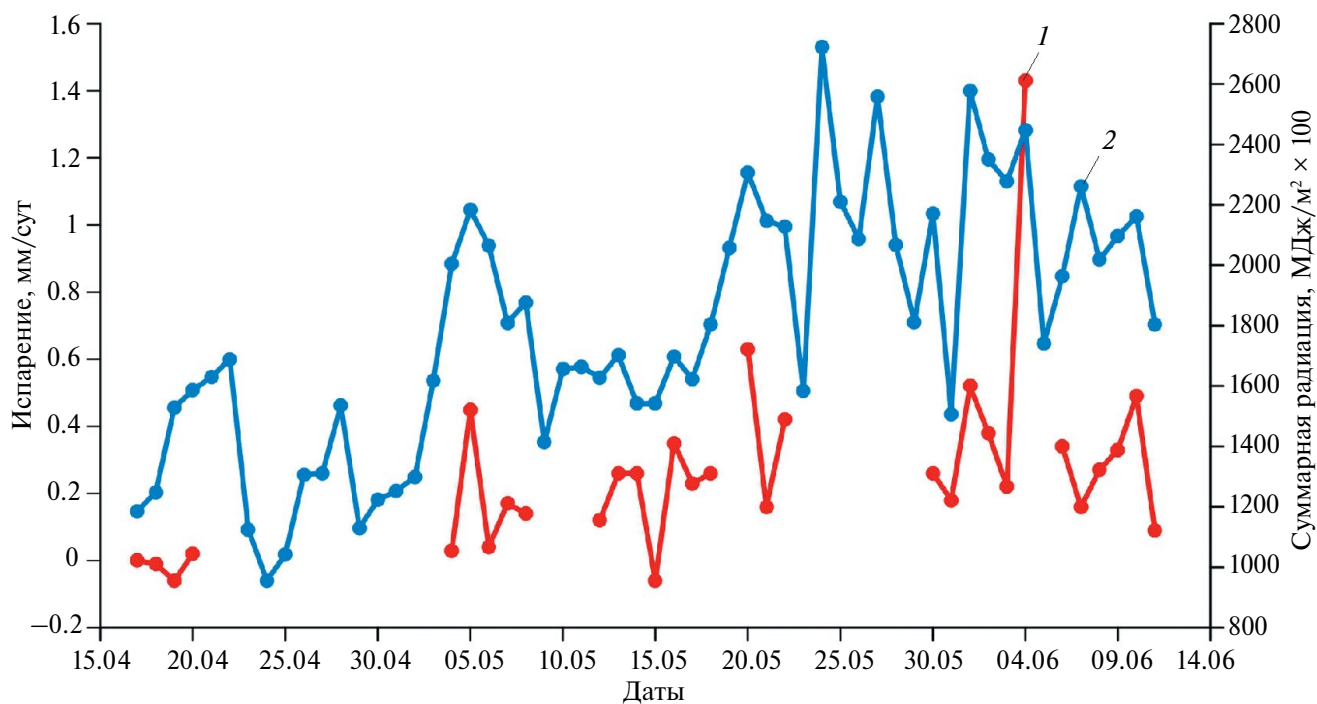


Рис. 4. Динамика величин испарения, измеренных инструментальным методом, и суммарной солнечной радиации: 1 – инструментально измеренное испарение с поверхности снежного покрова; 2 – суммарная солнечная радиация

Fig. 4. Dynamics of sublimation rates measured by instrumental method and total solar radiation: 1 – instrumentally measured evaporation from the snow surface; 2 – total solar radiation

где U_{10} — скорость ветра на высоте флюгера, м/с; $(e_{\Pi} - e_2)$ — разность между давлением насыщенного водяного пара (e_{Π}), вычисленным по данным срочных наблюдений за температурой поверхности снега, и парциальным давлением водяного пара на уровне 2 м (e_2), гПа. При расчёте суточных величин E были использованы среднесуточные значения метеорологических показателей, полученных на метеостанции НИС “Мыс Баранова”. Рассчитанное по методу П.П. Кузьмина испарение за период с 17.04.2024 по 12.06.2024 г. составляет 19.2 мм.

Согласно рекомендациям, изложенным в работе (Методические..., 1991), для ликвидации пропусков в наблюдениях целесообразно использовать упрощенную зависимость испарения (E) от скорости ветра (U) и разности парциального давления водяного пара (Δe):

$$E = \alpha U \Delta e. \quad (2)$$

В условиях открытой местности на равнинной территории для гладкой поверхности при устойчивом снежном покрове, что соответствует условиям НИС “Мыс Баранова”, коэффициент пропорциональности α рекомендовано принять равным 0.123. Величина испарения по формуле (2) равна 26.2 мм.

Восстановление пропусков в инструментальных наблюдениях путём интерполяции между смежными наблюденными величинами составляет 12.4 мм, что на 35.4% меньше значений, полученных по методу П.П. Кузьмина.

Таким образом, мы приняли величину испарения со снежного покрова в районе НИС “Мыс Баранова” равной 12.4 мм влаги. Учитывая, что количество выпавших осадков за период определения испарения составляет 37.7 мм, общий слой воды в снеге должен составлять 105.7 мм. Тогда принятая величина испарения со снега (12.4 мм) составляет 11.7% от общих снегозапасов. Разность между измеренными величинами (7.76 мм) и откорректированными линейной интерполяцией (12.4 мм) значениями составляет 4.64 мм, или 37.4%.

На рис. 5 приведён сезонный ход испарения со снежного покрова по наблюденным данным, пропуски которых восстановлены путём интерполяции, а также результаты расчёта по методике П.П. Кузьмина и температуры воздуха. Анализ временных изменений, рассчитанных этими методами, показывает, что зачастую наблюдается существенное несовпадение по динамике

изменений, особенно при снеготаянии. Рост температуры воздуха в приземном слое обуславливает увеличение испарения со снежного покрова. На графике эта тенденция хорошо выражена, но коэффициент корреляции незначительный, так как при этом не учитывается ряд иных обуславливающих факторов.

Установлено, что между измеренными величинами испарения, за ночной и дневной полусуточные периоды, существует слабая зависимость, коэффициент корреляции которой равен 0.569. Суточные величины испарения ($E_{\text{сут}}$) и испарение за дневной полусуточный период (E) имеют достаточно устойчивую связь, описываемую уравнением вида

$$E_{\text{сут}} = 1.11E + 0.035,$$

при коэффициенте корреляции 0.955. В ряде случаев полученную зависимость можно использовать для ликвидации пропусков наблюдений.

ВЫВОДЫ

Определение величин испарения инструментальным методом со снежного покрова в условиях Арктики было проведено НИС “Мыс Баранова”. В работе использовался инструментальный метод с применением двух весовых испарителей ГГИ-500-6. Испаряющая поверхность снега в приборе равна 500 см², толщина монолита снега с ненарушенной структурой — 6 см. От воздействия переноса снега лёгкими позёмками испарители защищены капроновой сеткой высотой 3 см и с ячейками 1.5×1.5 мм. Комплекс работ по определению испарения со снега регламентирован Методическими рекомендациями Росгидромета. Производство работ по испарению было начато 16 апреля и продолжалось до схода снега. Определено, что коэффициент взаимной корреляции показаний двух испарителей равен 0.943. В предвесенний период, при температуре от –30 до –10 °С, испарение (сублимация) не превышает ±0.01 мм/сут, а интенсивность его изменяется в пределах от –0.0007 до 0.0005 мм/час. С 16 по 30 апреля испарилось –0.02 мм, среднесуточное значение испарения составило –0.0001 мм/сут. В мае испарение (по данным инструментальных измерений) достигает 0.21 мм/сут. Весной при снеготаянии интенсивность испарения возрастает до 0.021 мм/час, а наибольшее его значение увеличивается до 0.0596 мм/час. В период снеготаяния на поверхности снега появляется квазижидкая плёнка воды, поверхность снежного

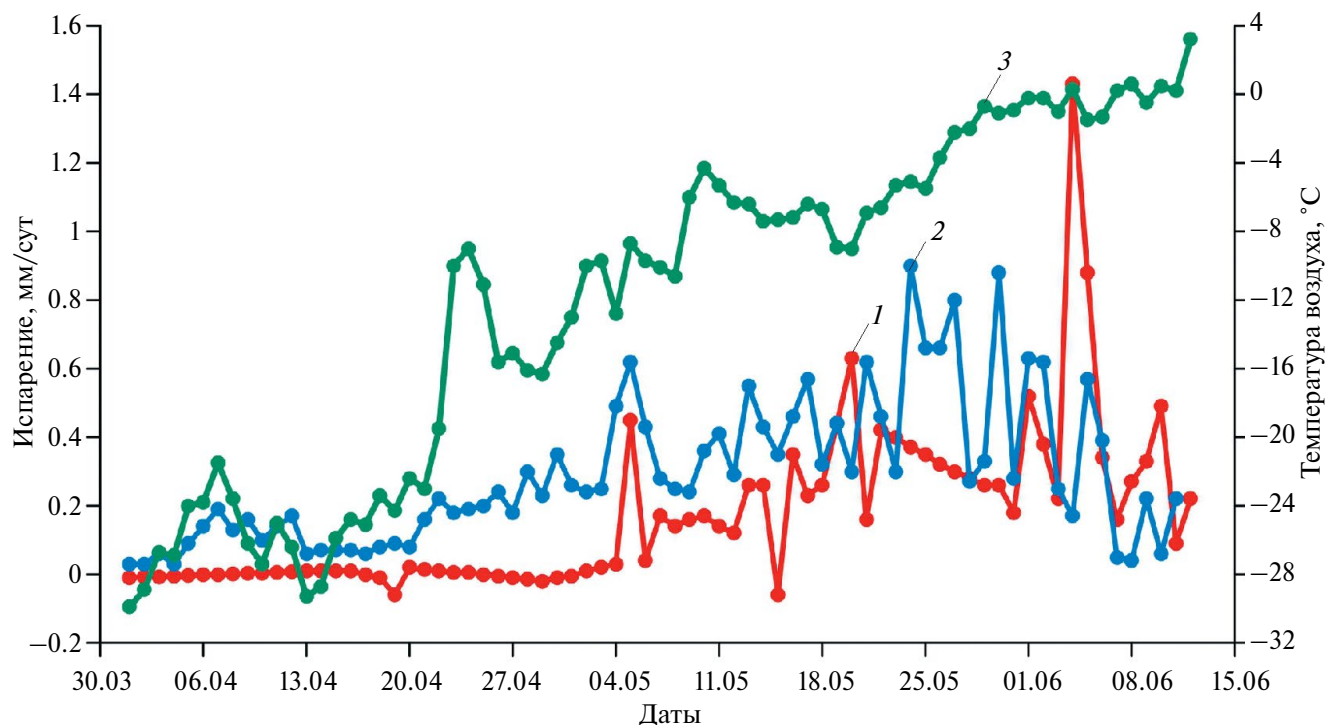


Рис. 5. Сравнение временного хода величин испарения, восстановленных путём интерполяции и рассчитанных по методике П.П. Кузьмина, совмещённых с среднесуточной температурой воздуха: 1 – испарение, восстановленное методом интерполяции; 2 – испарение, рассчитанное по методике П.П. Кузьмина; 3 – среднесуточная температура воздуха

Fig. 5. Comparison of sublimation values reconstructed through interpolation and calculated using P.P. Kuz'min's methodology, combined with mean daily air temperature: 1 – sublimation reconstructed via interpolation; 2 – sublimation calculated according to P.P. Kuz'min's methodology; 3 – mean daily air temperature

покрова в период снеготаяния становится влажной. В фазовых переходах влаги её испарение становится преобладающим. С 1 по 12 июня среднесуточная величина испарения составила 0.51 мм/сут, наибольшая – 1.43 мм/сут. За период снеготаяния испарилось 4.14 мм влаги. За предвесенний и весенний периоды инструментальным путём определён слой испарившейся воды, равный 7.76 мм. Ветры, метели и другие неблагоприятные факторы приводят к недоучёту испарившейся влаги. Для его ликвидации используют метод П.П. Кузьмина и линейную интерполяцию между смежными инструментальными измерениями. Применение этих методов дало нам следующие результаты: суммарное испарение за предвесенний и весенний периоды, измеренное по методу П.П. Кузьмина (формула 1), равно 19.2 мм; инструментальные наблюдения за период с 17 апреля по 12 июня, восстановленные с применением линейной интерполяции, дают 12.4 мм; пропуски в инструментальных наблюдениях, восстановленные по методу П.П. Кузьмина (формула 2), – 26.2 мм. Принятая величина испарения со снежного покрова в районе НИС “Мыс Баранова”

в 2024 г. равна среднему арифметическому между результатами, полученными путём восстановления пропусков по П.П. Кузьмину (19.2 мм) и линейной интерполяции (12.4 мм), и составляет 15.8 мм. Для уточнения расчётной формулы по методу П.П. Кузьмина необходимо продление ряда наблюдений, и, на этой основе, уточнение эмпирических коэффициентов.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы 5.1.4 плана НИТР Росгидромета на 2020–2024 гг. Регистрационный номер НИТР № АААА-А20-120041590009-7. Коллектив авторов выражает благодарность руководству и сотрудникам Высокоширотной Арктической экспедиции, а также её зимовочному составу за предоставление метеорологических данных.

Acknowledgments. The research was funded within project 5.1.4 of Roshydromet STW Plan 2020–2024. STW registration number АААА-А20-120041590009-7. The authors express their gratitude to the management and staff of the High-Latitude Arctic Expedition, as well as its wintering crew, for providing meteorological data.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Калюжный И.Л.* Оценка современного состояния методов измерения и расчета испарения со снега // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2022. Вып. 605. С. 109–137.
- Калюжный И.Л.* Пути усовершенствования метода измерения испарения со снежного покрова // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2022. Вып. 606. С. 159–168.
- Кузьмин П.П.* К методике исследования и расчета испарения с поверхности снежного покрова // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 1953. Вып. 241 (95). С. 34–52.
- Методические рекомендации по производству наблюдений за испарением с почвы и снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 234 с.
- Павлов А.В.* Теплофизика ландшафтов. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1979. 385 с.
- Постников А.Н.* Испарение с поверхности снежного покрова за период его залегания на территории России // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 42. С. 55–63.
- Liston G.E., Sturm M.* The role of winter sublimation in the Arctic moisture budget // *Nordic Hydrology*. 2004. V. 35. № 4–5. P. 325–334. <https://doi.org/10.2166/nh.2004.0024>
- Mandal A., Angchuk T., Azam M.F., Ramanathan A., Wagnon P., Soheb M., Singh C.* An 11-year record of wintertime snow-surface energy balance and sublimation at 4863 m a.s.l. on the Chhota Shigri Glacier moraine (Western Himalaya, India) // *The Cryosphere*. 2022. V. 16. P. 3775–3799. <https://doi.org/10.5194/tc-16-3775-2022>
- Reba M.L., Pomeroy J., Marks D., Link T.E.* Estimating surface sublimation losses from snowpacks in a mountain catchment using eddy covariance and turbulent transfer calculations // *Hydrological Processes*. 2012. № 26. P. 3699–3711. <https://doi.org/10.1002/hyp.8372>
- Sexstone G., Clow D.W., Fassnacht S.R., Liston G.E., Hiemstra C.A., Knowles J.F., Penn C.A.* Snow sublimation in mountain environments and its sensitivity to forest disturbance and climate warming // *Water Resources*. 2018. V. 54. № 2. P. 1191–1211. <https://doi.org/10.1002/2017WR021172>
- Stockert K.A., Euskirchen E.S., Stuefer S.L.* Sublimation measurements of tundra and taiga snowpack in Alaska // *The Cryosphere*. 2025. V. 19. I. 5. P. 1739–1755. <https://doi.org/10.5194/tc-19-1739-2025>
- Stigter E.E., Litt M., Steiner J.F., Bonekamp P.N.J., Shea J.M., Bierkens M.F.P., Immerzeel W.W.* The importance of snow sublimation on a Himalayan glacier // *Frontiers in Earth Science*. 2018. V. 6. P. 108–124. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00108>
- Strasser U., Bernhardt M., Weber M., Liston G.E., Mauser W.* Is snow sublimation important in the alpine water balance? // *The Cryosphere*. 2008. V. 2. P. 53–66. <https://doi.org/10.5194/tc-2-53-2008>

Citation: *Sekisov N.L., Vasilevich I.I., Kalyuzhny I.L.* Observational results of evaporation from the snow cover surface at the research base “Ice Station “Cape Baranova” (Severnaya Zemlya). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2025, 65 (3): 422–431. [In Russian]. doi: 10.7868/S2412376525030051

Observational Results of Evaporation from the Snow Cover Surface at the Research Base “Ice Station “Cape Baranova” (Severnaya Zemlya)

© 2025 N. L. Sekisov^a, I. I. Vasilevich^{a, #}, I. L. Kalyuzhny^b

^aState Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

^bFederal State Budgetary Institution of the State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

[#]e-mail: vasilevich@aari.ru

Received January 22, 2025; Revised April 21, 2025; Accepted June 26, 2025

The results of instrumental observations of sublimation from the snow cover surface on the Severnaya Zemlya archipelago in the vicinity of the Ice Base “Cape Baranov” are presented. The study used an instrumental method with two GG-500-6 weighing evaporimeters. Observations began on April 16, 2024, and continued until the snow cover disappeared. The coefficient of mutual correlation between the measurements of the two evaporimeters during the pre-spring period is 0.943. At temperatures

ranging from -30 to -10°C , sublimation does not exceed 0.01 mm/day, and its intensity varies between -0.0007 and 0.0005 mm/hour. It has been shown that during the pre-spring period, the average daily amount of sublimation is 0.01 mm/day. In May, the average rate of sublimation is 0.0088 mm/hour, and during snowmelt the daily amount of sublimation rises to 0.51 mm/day. During the snowmelt period, 4.14 mm of moisture was lost through sublimation. Over the pre-spring and spring periods, the amount of sublimation determined by instrumental means is 7.76 mm. Adverse natural factors lead to underestimation of the sublimated moisture. To restore missing observations, the authors applied linear interpolation between adjacent measured values and recovery of gaps using P.P. Kuzmin's method. Recovery of missing instrumental observations using P.P. Kuzmin's method determines the amount of sublimation at Cape Baranov as 19.2 mm of moisture, while linear interpolation yields a value of 12.4 mm.

Keywords: sublimation, snow cover, measurement methods, calculation methods, Arctic, Severnaya Zemlya

REFERENCES

- Kalyuzhny I.L.* Assessment of the current state of methods for measuring and calculating evaporation from snow. *Trudy GGO*. Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. 2022, 605: 109–137 [In Russian].
- Kalyuzhny I.L.* Ways to improve the method of measuring evaporation from snow cover. *Trudy GGO*. Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. 2022, 606: 159–168 [In Russian].
- Kuz'min P.P.* On the methodology for studying and calculating evaporation from the surface of a snow cover. *Trudy GGI*. Proceedings of the State Hydrological Institute. 1953, 241 (95): 34–52 [In Russian].
- Metodicheskie rekomendacii po proizvodstvu nablyudenij za ispareniem s pochvy i snezhnogo pokrova*. Guidelines for conducting observations of evaporation from soil and snow cover. Leningrad. Hydrometeoizdat, 1991: 234 p. [In Russian].
- Pavlov A.V. Teplofizika landshaftov*. Thermal physics of landscapes. Novosibirsk: Nauka, 1979: 385 p. [In Russian].
- Postnikov A.N.* Evaporation from the surface of snow cover during the period of its occurrence on the territory of Russia. *Uchenye zapiski RGGMU*. Scientific notes of the RSHU. 2016, 42: 55–63. [In Russian].
- Liston G.E., Sturm M.* The role of winter sublimation in the Arctic moisture budget. *Nordic Hydrology*. 2004, 35 (4–5): 325–334.
<https://doi.org/10.2166/nh.2004.0024>
- Mandal A., Angchuk T., Azam M.F., Ramanathan A., Wagnon P., Soheb M., Singh C.* An 11-year record of wintertime snow-surface energy balance and sublimation at 4863 m.a.s.l. on the Chhota Shigri Glacier moraine (western Himalaya, India). *The Cryosphere*. 2022, 16: 3775–3799.
<https://doi.org/10.5194/tc-16-3775-2022>
- Reba M.L., Pomeroy J., Marks D., Link T.E.* Estimating surface sublimation losses from snowpacks in a mountain catchment using eddy covariance and turbulent transfer calculations. *Hydrological Processes*. 2012, 26: 3699–3711.
<https://doi.org/10.1002/hyp.8372>
- Sexstone G., Clow D.W., Fassnacht S.R., Liston G.E., Hiemstra C.A., Knowles J.F., Penn C.A.* Snow sublimation in mountain environments and its sensitivity to forest disturbance and climate warming. *Water Resources*. 2018, 54 (2): 1191–1211.
<https://doi.org/10.1002/2017WR021172>
- Stockert K.A., Euskirchen E.S., Stuefer S.L.* Sublimation measurements of tundra and taiga snowpack in Alaska. *The Cryosphere*. 2025, 19 (5): 1739–1755.
<https://doi.org/10.5194/tc-19-1739-2025>
- Stigter E.E., Litt M., Steiner J.F., Bonekamp P.N.J., Shea J.M., Bierkens M.F.P., Immerzeel W.W.* The importance of snow sublimation on a Himalayan glacier. *Frontiers in Earth Science*. 2018, 6: 108–124.
<https://doi.org/10.3389/feart.2018.00108>
- Strasser U., Bernhardt M., Weber M., Liston G. E., Mauser W.* Is snow sublimation important in the alpine water balance? *The Cryosphere*. 2008, 2: 53–66.
<https://doi.org/10.5194/tc-2-53-2008>