

МАКСИМАЛЬНЫЙ ВОДОЗАПАС СНЕЖНОГО ПОКРОВА И СНЕГОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

Павлова И.А., Подрезов О.А., Подрезов А.О.

Рассматривается распределение максимальных для года и с повторяемостью 1 раз в 5, 10 и 20 лет значений водозапаса снежного покрова и снеговых нагрузок на сооружения на территории Кыргызстана. Приводятся аналитические модели высотных зависимостей этих характеристик для склонов различных хребтов, полученные по многолетним наземным данным и дистанционным вертолетным наблюдениям.

Ключевые слова: максимальный водозапас и снеговые нагрузки; аналитические модели высотных зависимостей

Ежегодное, максимально возможное на конец зимы, содержание воды в снежном покрове – максимальный водозапас – является важной климатической характеристикой территории, знание которой необходимо для прогноза весенне-летнего стока рек, паводков и селей, расчета снеговых нагрузок на сооружения и решения многих других прикладных задач. Максимальный водозапас выражается в мм слоя воды, а также численно равен массе снега, приходящейся на 1 м² земной поверхности (кг/м²). В этом случае он представляет собой снеговую нагрузку на сооружения. Согласно СНиП [1], в качестве *нормативного параметра снеговых нагрузок на сооружения* используется среднее из годовых максимумов значение водозапаса (снеговой нагрузки) – S мм (кг/м²). По этому показателю проведено районирование равнинной части территории бывшего СССР (карта снеговых районов М 1: 15 000000) с выделением горных территорий как неизученных, к которым относится и весь Кыргызстан [1]. Далее будем использовать оба термина, помня об их полной эквивалентности.

По заказу МЧС КР нами было выполнено крупномасштабное районирование Кыргызстана [2] по значению S (крупномасштабная карта нормативных снеговых нагрузок М 1:500 000) с выделением 15 снеговых районов от первого ($S=50$ мм (кг/м²)) до 15-го ($S=1100$ мм (кг/м²)), высотное расположение границ которых приведены в табл 1. В ней условно принято, что выше предельных границ, для которых имеются исходные данные (гребневая зона хребтов выше 3,6–4 км), нагрузки остаются постоянными, хотя они несомненно растут вплоть до максимальных высот хребтов. Одновременно был весьма детально исследован режим S на склонах горного обрамления Ферганской впадины, где снеговые нагрузки являются одними из самых больших в Кыргызстане [3] и где часто наблюдаются разрушительные весенне-летние паводки и сели.

В основе карты снеговых нагрузок Кыргызстана лежат 17 генерализированных высотных зависимостей S , построенных нами на основании обобщения многолетних данных Кыргызгидромета: 1) снегосъемок на 198 метеостанциях

и постах (высоты 0,5–3,6 км) за период 38 зим 1941–1942 и 1978–1979 гг.; 2) 55 высотных зависимостей S , полученных в САНИГМИ [4] по данным 393 снегопунктов, располагавшихся в 16 бассейнах рек на высотах 1,1 – 4,05 км, а также 564 дистанционных вертолетных реек, установленных в 29 бассейнах рек на высотах 1,88 – 4,25 км. На период составления карты снеговых нагрузок высотные зависимости представлялись только в графическом виде без аппроксимации их аналитическими формулами. При этом учитывалось следующее:

1. Генерализация (дифференциация) высотных зависимостей должна быть орографически и климатически обоснована, а их число разумно минимизировано.

2. Условно принято, что все зависимости соответствуют гипотетическому однородному склону, т.е. некоторому усредненному распределению снежного покрова, и не учитывают всю мозаику микрорельефных условий, а также надувы и сдувы снега.

3. Точная оценка погрешностей высотных зависимостей затруднена, но в самом первом приближении она может быть выражена, на наш взгляд, следующими критериями: относительная ошибка оценочных S в самых благоприятных случаях составляет около 5 – 10 %, средние относительные погрешности, как правило, не превышают 15 – 25 %.

Таблица 1

Высотное положение границ нормативных снеговых районов для различных физико-географических зон Кыргызстана по карте [2].

Район	S , кг/м ²	Высотная граница, м	Район	S , кг/м ²	Высотная граница, м
1. Северный склон Киргизского хребта					
1	50	Менее 1300	6	250	2800–3000
2	70	1300–1900	7	300	3000–3200
3	100	1900–2300	8	400	3200–3400
4	150	2300–2600	9	500	3400–3600
5	200	2600–2800	10	600	Более 3600
2. Горное обрамление Чон-Кеминской впадины					
1	50	Менее 2200	5	200	3300–3500
2	70	2200–2700	6	250	3500–3600
3	100	2700–3000	7	300	3600–3800
4	150	3000–3300	8	400	Более 3800
3. Горное обрамление Таласской впадины					
1	50	Менее 1800	5	200	3100–3400
2	70	1800–2200	6	250	3400–3600
3	100	2200–2700	7	300	3600–3800
4	150	2700–3100	8	400	Более 3800
4. Восточный склон Чаткальского хр., южный склон Атойнакского хр., западный склон Ферганского хр.					
1	50	Менее 700	9	500	2400–2700
2	70	700–900	10	600	2700–2900
3	100	900–1100	11	700	2900–3100
4	150	1100–1400	12	800	3100–3200
5	200	1400–1700	13	900	3200–3300
6	250	1700–1900	14	1000	3300–3400
7	300	1900–2100	15	1100	Выше 3400
8	400	2100–2400			

Район	S, кг/м ²	Высотная граница, м	Район	S, кг/м ²	Высотная граница, м
5. Пскемский хр., Сандалашский хр., западный склон Чаткальского хр.					
5	200	Ниже 1200	11	700	2900–3100
6	250	1200–1600	12	800	3100–3200
7	300	1600–2100	13	900	3200–3300
8	400	2100–2500	14	1000	3300–3400
9	500	2500–2700	15	1100	Выше 3400
10	600	2700–2900			
6. Северный склон Туркестанского и Алайского хр.					
1	50	До 1400	6	250	3200–3400
2	70	1400–2000	7	300	3400–3600
3	100	2000–2500	8	400	3600–3900
4	150	2500–2900	9	500	3900–4100
5	200	2900–3200	10	600	Выше 4100
7. Стык Ферганского и Алайского хр. (переходная зона бассейнов рек Каракульджа-Тар)					
1	50	До 1300	6	250	2700–2900
2	70	1300–1700	7	300	2900–3100
3	100	1700–2100	8	400	3100–3400
4	150	2100–2400	9	500	3400–3600
5	200	2400–2700	10	600	Выше 3600
8. Южный склон Алайского хр., северный склон Заалайского хр. (горное обрамление Алайской впадины)					
3	100	Ниже 3100	7	300	4100–4300
4	150	3100–3600	8	400	4300–4500
5	200	3600–3900	9	500	Выше 4500
6	250	3900–4100			
9. Горное обрамление Токтогульской и Тогуз-Тороусской впадин					
3	100	Ниже 1100	8	400	2400–2700
4	150	1100–1700	9	500	2700–2900
5	200	1700–2100	10	600	2900–3200
6	250	2100–2300	11	700	3200–3400
7	300	2300–2400	12	800	Выше 3400
10. Горное обрамление Джумгальской, Кочкорской, Каракуджурской впадин					
1	50	Ниже 2400	5	200	3400–3700
2	70	2400–2800	6	250	3700–3900
3	100	2800–3100	7	300	Выше 3900
4	150	3100–3400			
11. Горное обрамление Сусамыро-Каракольской впадины					
4	150	2000–2400	8	400	3000–3100
5	200	2400–2700	9	500	3100–3200
6	250	2700–2900	10	600	3200–3400
7	300	2900–3000	11	700	Выше 3400
12. Горное обрамление Алабугинской, Средне-Нарынской и Атбаши-Каракуюнской впадин					
2	70	Ниже 2200	5	200	3100–3400

Район	S, кг/м ²	Высотная граница, м	Район	S, кг/м ²	Высотная граница, м
3	100	2200–2700	6	250	3400–3600
4	150	2700–3100	7	300	Выше 3600
13. Горное обрамление Арпинской, Верхне-Нарынской, Сары-Джазской (р. Койлю и севернее) впадин, Тарагайские, Арабельские и Кумторские сырты					
1	50	Ниже 2800	5	200	3900–4100
1	2	3	4	5	6
2	70	2800–3100	6	250	4100–4400
3	100	3100–3500	7	300	Выше 4400
4	150	3500–3900			
14. Горное обрамление Чатыркульской, Аксайской и Ак-Шийракской впадин, хребты Центрального Тянь-Шаня					
1	50	Ниже 3700	5	200	4700–4900
2	70	3700–4000	6	250	4900–5100
3	100	4000–4400	7	300	Выше 5100
4	150	4400–4700			
15. Горное обрамление западной части Иссык-Кульской впадины					
1	50	Ниже 2600	5	200	3300–3600
2	70	2600–2800	6	250	3600–3900
3	100	2800–3000	7	300	Выше 3900
4	150	3000–3300			
16. Горное обрамление центральной части Иссык-Кульской впадины					
1	50	Ниже 2000	5	200	3300–3600
2	70	2000–2500	6	250	3600–3900
3	100	2500–3000	7	300	Выше 3900
4	150	3000–3300			
17. Горное обрамление восточной части Иссык-Кульской впадины					
3	100	Ниже 1800	7	300	2700–3000
4	150	1800–2100	8	400	3000–3600
5	200	2100–2400	9	500	Выше 3600
6	250	2400–2700			

В табл. 2 приведены найденные позже аналитические выражения для 17 генерализированных высотных зависимостей S мм (кг/м²), соответствующих табл. 1 и снеговой карте. Они описывают всю территорию Кыргызстана и являются универсальными, удобными для практического использования моделями распределений водозапаса снежного покрова и снеговых нагрузок на склонах хребтов, имеющих различные высоты, орографическое строение и расположение. В таблице четко очерчены районы применения каждой зависимости и дан диапазон высот, в пределах которого она может быть использована. Предельные высоты этих диапазонов превышают максимальные высоты наблюдений,

как правило, не более, чем на 0,5 км (заданный нами предел экстраполяционных возможностей формул). В последнем столбце табл. 2 приведены расчетные значения S для заданной нижней и верхней границ диапазона высот применимости формул.

Как видно, все зависимости, кроме одной, имеют экспоненциальный характер, что говорит о быстром, хотя и существенно различном в разных районах, возрастании S с высотой. В качестве примера на рис. 1 показан вид графиков S для северного склона Киргизского хребта и восточного склона Чаткальского хребта, юго-западных склонов Атойнакского и Ферганского хребтов (зависимости 1 и 4 по табл. 2), где водозапас в гребневых

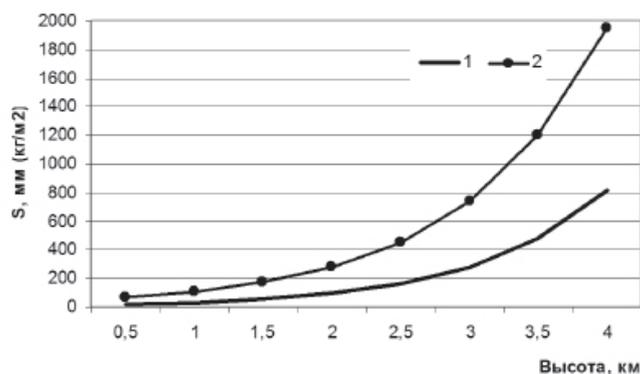


Рис. 1. Высотные зависимости S для северного склона Киргизского хребта (1) и восточного склона Чаткальского хребта, юго-западных склонов Атайнакского и Ферганского хребтов (2)

зонах на высотах около 3,5 км достигает соответственно 600 и 1100 мм (кг/м²).

Эти данные позволяют дать следующую краткую характеристику территориального распределения нормативных снеговых нагрузок по территории.

Как видно (табл. 1 и 2), в области днищ Чуйской, Таласской, Чон-Кеминской, Ферганской, Джумгалской, Кочкорской, Кара-Куджурской, Арпинской, Верхне-Нарынской, Сары-Джазской, Чатыркульской, Аксайской и Ак-Шийракской впадин, в западной и центральной частях Иссык-Кульской котловины, а также в области Тарагайских, Арабельских и Кумторских сыртов, нормативные нагрузки не превышают первого снегового района с $S=50$ кг/м². При этом высотное положение названных областей днищ меняется в диапазоне от 0,5 до 3,7 км. И только выше, по склонам обрамляющих котловины хребтов, нагрузки увеличиваются сначала до 70 кг/м², затем до 100 и более кг/м². Повышенные значения S наблюдаются в зоне днищ Токтогульской и Тогуз-Тороусской впадин (100 кг/м²), в Алабугинской, Средне-Нарынской и Атбаши-Каракуюнской впадинах (70 кг/м²), в восточной части Иссык-Кульской котловины (100 кг/м²) и Сусамыро-Каракольской впадине (150 кг/м²).

Минимальные значения $S=300$ кг/м² на своих предельных отметках, достигающих 5 км, имеют хребты горного обрамления Чатыркульской, Ак-Сайской, Ак-Шийракской впадин и хребты Центрального Тянь-Шаня (горный узел Хан-Тенгри). Такие же низкие предельные значения $S=300$ кг/м², но на более низких высотах 3,5–5 км, имеют хребты горного обрамления Джумгалской, Кочкорской, Каракуджурской, Алабугинской, Средне-Нарынской, Атбаши-Каракуюнской впадин и центральной и западной частей Иссык-Кульской котловины.

Несколько большие предельные нагрузки ($S=400$ кг/м²) наблюдаются в гребневых зонах хребтов горного обрамления Таласской и Чон-Кеминской впадин на высотах около 3,8 км. Предельные нагрузки до $S_0=500$ –700 кг/м² наблюдаются в гребневых зонах северного склона Киргизского хребта, хребтов горного обрамления Алайской впадины, восточной части Иссык-Кульской котловины, северного склона Алайского и Туркестанского хребтов.

Горное обрамление Токтогульской и Тогуз-Тороусской впадин имеет максимальные значения $S=800$ кг/м² на высотах свыше 3,4 км. Наконец, самые высокие предельные значения $S=1100$ кг/м² и более наблюдаются в гребневых зонах субмеридиональных Пскемского, Сандалашского, Чаткальского (западный и южный склоны), Атайнакского (юго-западный склон) и Ферганского (юго-западный склон) хребтов на высотах выше 3,4 км. Таким образом, наглядно видно, что высота не является определяющим фактором для формирования снеговых нагрузок. Только одновременный учет макро- мезорельефных условий и высоты места позволяет объяснить такое территориальное распределение S , например, нагрузки первого снегового района (S до 50 кг/м²) на высотах менее 700 м и на высотах до 5000 м. Такой контраст условий снегонакопления зимой является просто поразительным.

Если условно дифференцировать территорию Кыргызстана на четыре области по уровню снеговых нагрузок – с малыми, умеренными, большими и очень большими нагрузками, то к ним можно отнести:

1) области с малыми нагрузками, где S максимальное соответствует 7 району (300 кг/м²) – горное обрамление Джумгалской, Кочкорской, Каракуджурской, Алабугинской. Средне-Нарынской, Верхне-Нарынской, Атбаши-Каракуюнской,

Арпинской, Сары-Джазской, Чатыркульской, Ак-Сайской, Ак-Шийракской впадин, Тарагайских, Арабельских и Кумторских сыртов, хребты Центрального Тянь-Шаня, а также западной и центральной частей Иссык-Кульской впадины;

2) области с умеренными нагрузками, где S максимальное соответствует 8 – 9 районам с 400 и 500 кг/м² – горное обрамление Чон-Кеминской, Таласской, Алайской и восточной части Иссык-Кульской впадины;

3) области с большими нагрузками, где S максимальное соответствует 10–12 районам (600–800 кг/м²), – северный склон Кыргызского хр. (южное обрамление Чуйской впадины), северные склоны Алайского и Туркестанского хребтов, включая стык Ферганского и Алайского хребтов (бассейны рек Карадарья (Тар) – Каракульджа), горное обрамление Токтогульской, Тогуз-Тороусской и Сусамыро-Каракольской впадин;

Таблица 2

Формулы высотных зависимостей средних годовых максимумов водозапаса снежного покрова S мм (кг/м²) для склонов хребтов Кыргызстана

Хребет (район)	Оценочная формула (Z , км)	Область высот, км	Значение S на предельных Z
Северный склон Кыргызского хр.	$S=11,573 e^{1,063Z}$	0,7–4	24–814
Горное обрамление Чон-Кеминской впадины	$S=3,324 e^{1,216Z}$	1,5–4	21–431
Горное обрамление Таласской впадины	$S=11,923 e^{0,878Z}$	1,2–4	34–400
Восточный склон Чаткальского хр., юго-западные склоны Атойнакского и Ферганского хр.	$S=40,410 e^{0,969Z}$	0,7–4	80–1949
Пскемский хр., Сандалашский хр., западный склон Чаткальского хр.	$S=78,596 e^{0,743Z}$	1–4	200–1538
Северные склоны Туркестанского и Алайского хр.	$S=14,443 e^{0,877Z}$	1–5	35–1161
Стык Ферганского и Алайского хр. (бассейны рек Кара-Кульджа-Тар)	$S=15,929 e^{0,985Z}$	1–4,5	47–1339
Южный склон Алайского хр., северный склон Заалайского хр. (горное обрамление Алайской впадины)	$S=5,478 e^{0,969Z}$	2,5–5	62–695
Горные обрамления Токтогульской и Тогуз-Тороусской впадин	$S=42,309 e^{0,853Z}$	0,8–4	84–1285
Горные обрамления Джумгалской, Кочкорской и Каракуджурской впадин	$S=5,074 e^{1,026Z}$	1,5–4	24–514
Горные обрамления Сусамырской и Каракольской впадин	$S=7,931 e^{1,282Z}$	2–4	103–1337
Горные обрамления Алабугинской, Средне-Нарынской и Атбаши-Каракуюнской впадин	$S=13,275 e^{0,838Z}$	1,5–4	47–379
Горные обрамления Арпинской, Верхне-Нарынской, Сары-Джазской (севернее р. Койлю) впадин, Тарагайские, Арабельские и Кумторские сырты	$S=4,121 e^{0,960Z}$	2,5–4,5	46–310
Горные обрамления Чатыркульской, Ак-Сайской и Акширакской впадин, хребты центрального Тянь-Шаня	$S=0,941 e^{1,117Z}$	3–5,5	27–437
Горные обрамления западной части Иссык-Кульской котловины	$S=166,3 Z - 374$	2,5–4	41–291
Горные обрамления центральной части Иссык-Кульской котловины	$S=11,593 e^{0,811Z}$	1,6–4	43–297
Горные обрамления восточной части Иссык-Кульской котловины	$S=38,131 e^{0,697Z}$	1,6–4	116–619

4) области с очень большими нагрузками, где S максимальное соответствует 15 району (1100 кг/м²) –горное обрамление Чаткальской и Сандашской впадин, северное и восточное горное обрамление Ферганской впадины, представленное восточным склоном Чаткальского хр., южным склоном Атойнакского хр. и западным склоном Ферганского хр. (до гребня Узгенского хребта-отрога на юге).

До сих пор речь шла о водозапасе (снеговой нагрузке), определяемом как среднее значение из годовых максимумов. Практическое применение

результатов сделанного анализа можно существенно расширить, если найти вероятностные оценки этих характеристик, например, вероятных 1 раз в 5, 10 и 20 лет (S_5 , S_{10} и S_{20}). Для этого данные эмпирических распределений годовых максимумов водозапасов 198 станций и постов были аппроксимированы экспоненциальным законом, а затем рассчитаны по каждому пункту значения S_5 , S_{10} и S_{20} . По этим данным по методу наименьших квадратов найдены соответствующие уравнения регрессий (связи) между S_5 , S_{10} , S_{20} и S , которые оказались следующими (табл. 3).

Таблица 3

Формулы связи значений S_5 , S_{10} , S_{20} и S для различных климатических областей Кыргызстана

Северо-Западный и Северный Кыргызстан	Юго-Западный и Западный Кыргызстан
$S_5=1.30S+7+-7$	$S_5=1.41S+6+-22$
$S_{10}=1.64S+12+-11$	$S_{10}=1.66S+24+-37$
$S_{20}=1.91S+20+-16$	$S_{20}=1.92S+39+-49$
Иссык-Кульская котловина	Внутренний Тянь-Шань
$S_5=1.17S+17+-13$	$S_5=1.34S+8+-15$
$S_{10}=1.42S+26+-17$	$S_{10}=1.66S+13+-26$
$S_{20}=1.67S+39+-39$	$S_{20}=1.97S+19+-41$

В этих формулах последние слагаемые со знаком + – есть среднеквадратические ошибки уравнений регрессий (мм, кг/м²). Как видно, значения ошибок находятся в пределах 7...49 мм (кг/м²), т. е. формулы имеют вполне приемлемую точность для многих практических приложений. Зная нормативные значения S , по ним легко можно получить вероятностные оценки с повторяемостью 1 раз в 5, 10 и 20 лет. Так, например, значение нагрузок, вероятных 1 раз в 20 лет (S_{20}) примерно в два раза больше, чем сами S . Исключение составляет Иссык-Кульская котловина, где кратность равна 1,7.

Важными характеристиками режима S являются также плотность снега ρ и высота снежного покрова h , наблюдаемые на момент возникновения максимального S году. В САНИГМИ [4] для плотности слежавшегося к концу зимы снега, что физически близко соответствует условию максимального S в году, получена оценочная формула:

$$\rho = 0,075h^{0,30} + 0,032, \quad (1)$$

где ρ , г/см³, h , см.

Используя формулу (1), можно установить функциональную оценочную зависимость S от h :

$$S = 0,75h^{1,3} + 0,32h, \quad (2)$$

где S , мм (кг/м²), h , см.

Так, например, для $h=100$ см получим: $\rho=33$ г/см³, $S=331$ кг/м², а для $h=300$ см – $\rho=45$ г/см³, $S=1341$ кг/м².

Следует заметить, что при дистанционных вертолетных наблюдениях делаются отсчеты только высоты снега h , а значения водозапаса S рассчитываются по (2), используя значения ρ , полученное на наземных снегопунктах в этом районе или, более грубо, по усредненной формуле (1).

Приведенные выше результаты являются наиболее полным обобщением данных о режиме максимальных водозапасов и снеговых нагрузок на территории Кыргызстана. Они рекомендуются нами к практическому использованию для решения самых различных прикладных задач, где требуется учет этих характеристик климата.

Литература

1. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. М.: Стройиздат, 1986. 35 с.
2. Подрезов О.А. Горная метеорология и климатология. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2000. 267 с.
3. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Режим снежного покрова на склонах южного и восточного горных обрамлений Ферганской впадины // Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. № 3. С. 53–60.
4. Методические рекомендации по определению характеристик режима снежного покрова в горах Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ., 1988. 134 с.