ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Аджиев А. Х., д-р физ.-мат. наук, проф.,
Беккиев М. Ю., д-р техн. наук, проф.,
Кондратьева Н. В., д-р геогр. наук, доц.,
Юрченко Н. В., млад. научн. сотр.
(ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, КБР),
Акбиев Р. Т., канд. техн. наук
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва)

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЕСА СНЕГОВОГО ПОКРОВА И ЗНАЧЕНИЙ ВЫСОТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА В ГОРНЫХ И МАЛОИЗУЧЕННЫХ РАЙОНАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Приведены результаты определения нормативного значения веса снегового покрова и изменения с высотой местности веса снега для проектируемых объектов Горно-металлургического комбината «Удокан» на высотах от 600 до 2000 м. Для определения расчетной нагрузки снега на здания и сооружения на территории создания объекта использовались ряды ежегодных максимумов запаса воды в снежном покрове, полученные в результате снегомерных маршрутных наблюдений на высокогорных метеостанциях, расположенных вблизи от проектируемых объектов. По данным метеостанций построена регрессионная линейная модель зависимости водозапаса в снежном покрове от высоты над уровнем моря. Основным расчетным методом нахождения коэффициентов линейного уравнения является метод наименьших квадратов. Выявлено, что при увеличении высоты над уровнем моря на 1 м водозапас в снежном покрове увеличивается примерно на 0,1 мм.

Ключевые слова: вес снегового покрова, максимальный водозапас, проектируемый объект, снеговая нагрузка, ряды наблюдений, метеостанция, снегонакопление, расчетная зависимость, коэффициент детерминации

При проектировании различных объектов расчетная нагрузка снежного покрова вычисляется из нормативной путем умножения нормативной нагрузки на коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие μ, который меняется в соответствии с приложением Б [1]. Нормативное значение веса снегового покрова S_g на 1 м² горизонтальной поверхности земли принимается в зависимости от снегового района для территории Российской Федерации. Однако получаемые при этом значения во многих случаях значительно завышаются, а на малоизученных территориях занижаются.

Согласно пункту 10.2 [1] в горных и малоизученных районах, обозначенных на карте 1 приложения Ж, в пунктах с высотой над уровнем моря более 1500 м, в местах со сложным рельефом и иных случаях вес снегового покрова допускается определять в установленном порядке на основе данных ближайших метеостанций Росгидромета. При этом значение веса снегового покрова следует принимать как превышаемый в среднем один раз в 25 лет ежегодный максимум веса снегового покрова, определяемый на основе данных маршрутных снегосъемок о запасах воды на защищенных от прямого воздействия ветра участках (в лесу под кронами деревьев или на лесных полянах) за период не менее 20 лет.

Проектируемые объекты ГМК «Удокан» расположены на границе II и IV зон на карте районирования РФ по снеговой нагрузке [1]. На участке строительства и близлежащих территориях многолетние снегомерные измерения не проводились.

По заключению авторов [2], применение высотного коэффициента, рекомендуемого [1] для высот 1000 м и более для рассматриваемой территории может привести к существенным погрешностям. Кроме того, этот коэффициент, как показано в [2], [3] будет меняться с высотой. В работе [2] предложено в расчетах веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли (1 раз в 25 лет) использовать формулу

$$S = 81 \ln (H) - 457, \quad (1)$$

где H — высота, м. Результаты расчета снеговой нагрузки с использованием данного выражения приведены в таблице 1.

В соответствии с приложением Е [1] территория проектирования объектов относится ко II району (горный малоизученный район). Для горных районов предложено выражение снеговой нагрузки в зависимости от высоты в виде

$$S_g (h) = S_g + k_h (h - 500), \quad (2)$$

где k_h — принимается по таблице Е. 1 [1] равным 0,002, S_g = 1,0 кПа.

В таблице 1 приведены значения веса снегового покрова на 1 м² поверхности земли по принятому в [2] формуле (1) и нормативный вес снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности зем-

Таблица 1

Высота, м	Вес снегового покрова на 1 м², кПа, по формуле (1)	S_g, кПа, по [1]
600	0,60	1,2
800	0,86	1,6
1000	1,02	2,0
1200	1,18	2,4
1400	1,26	2,8
1600	1,42	3,2
1800	1,50	3,6
2000	1,59	4,0

Таблица 2 — Расчетный запас воды в снежном покрове на метеостанциях

Метеостанции	Длина используемого ряда, год	Расчетный запас воды в снежном покрове, возможный 1 раз в 25 лет, мм	Высота метеостанции над уровнем моря, м
Чара	51	71,6	709
Калакан	47	73,9	612
Ср. Калар	49	60,0	748
Большая Леприндa	38	116,2	998
Катугино	23	99,0	990
Моклакан	17	85,8	708
Наминга	11	174,0	1400
Удокан	12	213,0	1600

Таблица 3 — Расчетный вес снегового покрова на 1 м² земли, кПа

Высота, м	Расчет по формуле (1) [2], (кПа)	Расчет по формуле (6), кПа, 1 раз в 25 лет
600	0,60	0,56
800	0,86	0,86
1000	1,02	1,16
1200	1,18	1,46
1400	1,26	1,76
1600	1,42	2,06
1800	1,50	2,36
2000	1,59	2,66

Таблица 4 — Расчетные значения запаса воды в снежном покрове, возможные 1 раз в 50 лет на метеостанциях

Метеостанции	Расчетный запас воды в снежном покрове, возможный 1 раз в 50 лет, мм	Высота метеостанции над уровнем моря, м
Чара	81,1	709
Калакан	83,7	612
Ср. Калар	68,1	748
Большая Леприндa	129,2	998
Катугино	112,4	990
Моклакан	97,6	708
Наминга	178,0	1400
Удокан	225,0	1600

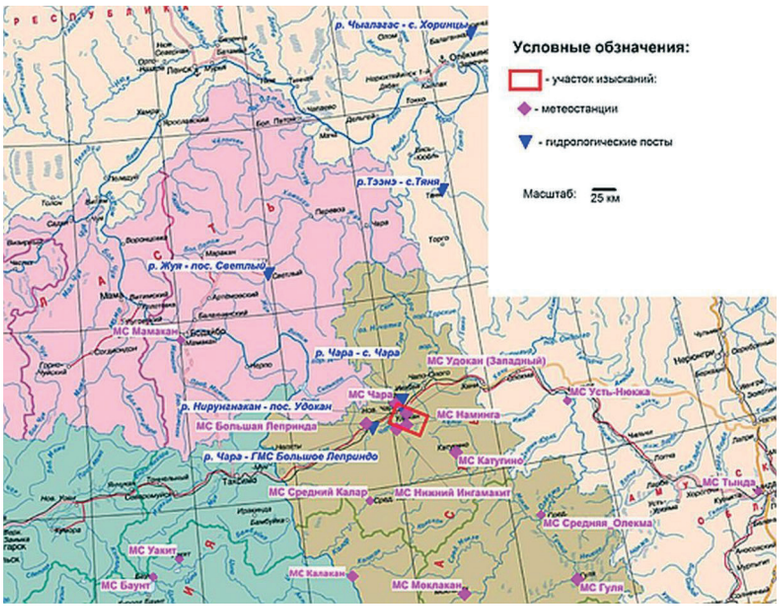

Рисунок 1 — Местоположение метеостанций в районе строительства ГМК «Удокан»

ли S_g, кПа, по [1], формула (2).

Как видно из таблицы 1 в значениях веса снегового покрова на 1 м² по данным [2] и расчетным по [1] значениям имеют место значительные расхождения от 200% на высотах 600 м и до 250% на высотах 2000 м над уровнем моря. Такое расхождение в значениях веса снегового покрова по данным метеостанций, полученных в работе [2] и по [1] обусловлено неверным значением коэффициента k_h в СП для данной территории. Различие в значениях веса снегового покрова на 1 м² по данным [2] и расчетным по [1], возможно, также вызвано высотным расположением использованных в [2] метеостанций.

Для объективной оценки высотной зависимости запаса воды в снежном покрове, нами использовались станции, на которых проводятся маршрутные снегомерные наблюдения (рисунок 1). Использовались ряды ежегодных максимумов запаса воды в снежном покрове, полученные в результате снегомерных маршрутных наблюдений на метеостанциях Чара, Калакан, Средний Калар, Большая Леприндa, Катугино, Моклакан, предоставленных НПК «Атмосфера» и данные Забайкальского УГМС по метеостанциям Наминга и Удокан (таблица 2).

Данные 4% и 2% обеспеченностей по метеостанциям Чара, Калакан, Ср. Калар, Большая Леприндa, Катугино, Моклакан были получены от НПК «Атмосфера» (таблица 2). Для метеостанций Наминга и Удокан от Забайкальского УГМС были использованы данные снегомерных съемок от высот 1290 до 1840 м по маршруту от метеостанции Наминга до метеостанции Удокан. Из этих данных были отобраны ежегодные снегомерные съемки на конец зимы на высотах 1400±50 и 1600±50 м. Для расчетной высоты 1400 м отобрано 55 измерений за 11 лет. И для этой высоты средний водозапас в снежном покрове составил 136,9 мм. Для расчетной высоты 1600 м отобрано 44 измерения за 12 лет. Средний водозапас

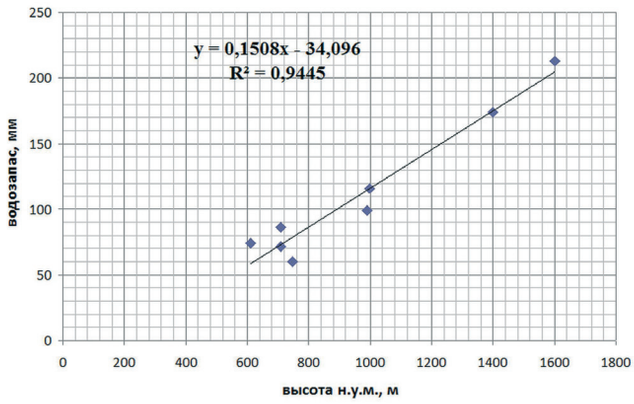

Рисунок 2 — Расчетная зависимость водозапаса в снежном покрове от высоты над уровнем моря (возможная 1 раз в 25 лет)

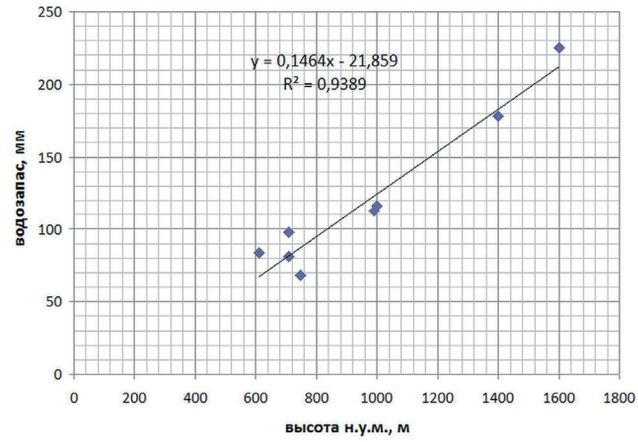

Рисунок 3 — Расчетная зависимость водозапаса в снежном покрове от высоты над уровнем моря (возможная 1 раз в 50 лет)

в снежном покрове составил 143,14 мм. По этим данным нами были рассчитаны значения водозапаса снежного покрова на высотах 1400 м и 1600 м 4% и 2% обеспеченности.

Определение расчетных значений водозапаса снежного покрова при наличии данных наблюдений произведены по кривой обеспеченности, аппроксимируемой распределением Пирсона III типа. По метеостанции Наминга расчетное значение водозапаса снежного покрова 2% обеспеченности равно 178 мм, значение водозапаса снежного покрова 4% обеспеченности — 174 мм. По метеостанции Удокан расчетные значения водозапаса снежного покрова 2% обеспеченности — 225 мм, значение водозапаса снежного покрова 4% обеспеченности — 213 мм.

В зависимости от экспозиции склонов толщина снега (снегозапас) с высотой до высот 3000 м над уровнем моря растет прямолинейно [4], [5].

Исходя из этого, выполнена экстраполяция вверх с данными об осадках диапазона высот 612÷1600 м до неизученных 2000 м на основе данных многолетних наблюдений на метеостанциях, предоставленных НПК «Атмосфера» и Забайкальским УГМС. Учитывая увеличение в горах толщины снега с высотой [4], в расчетах используются линейная зависимость S с высотой, определяемой по формуле

$$S = \frac{S_2 - S_1}{H_2 - H_1} H + \frac{S_1 H_2 - S_2 H_1}{H_2 - H_1}, \qquad (3)$$

где S_1 и S_2 — значения нормативного веса снегового покрова на 1 м² земной поверхности на высотах H_1 и H_2 над уровнем моря;

S — значение нормативного веса снегового покрова на 1 м² земной поверхности на высоте H над уровнем моря.

Таблица 5 — Значение веса снегового покрова на 1 м² земли, кПа, при различных высотах H, м, и обеспеченности

Высота, м	1 раз в 25 лет, кПа	1 раз в 50 лет, кПа
600	0,56	0,658
800	0,86	0,950
1000	1,16	1,240
1200	1,46	1,530
1400	1,76	1,826
1600	2,06	2,118
1800	2,36	2,410
2000	2,66	2,700

Поэтому указанная выше высотная интерполяция веса снегового покрова на территории ГМК «Удокан» вполне оправдана. По данным из таблицы 2 построена регрессионная линейная модель зависимости водозапаса в снежном покрове, мм, от высоты над уровнем моря, м, определяемой по формуле

$$Y = ax + b, \qquad (4)$$

где a и b — коэффициенты формулы (4).

Коэффициенты формулы (4) определяются с помощью встроенной функции рабочего листа Exel ЛИНЕЙН, которая вычисляет не только значения коэффициентов, но и определяет погрешности их вычисления, статистику Фишера, коэффициент детерминации модели R^2 и др. В наших расчетах статистика Фишера составила 38,9. С учетом выполненных расчетов и анализа выражение (4) имеет вид

$$Y = 0{,}1508x - 34{,}096. \qquad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что при увеличении высоты над уровнем моря на 1 м водозапас в снежном покрове увеличивается примерно на 0,1 мм (рисунок 2). Тренд статистически значимый, коэффициент детерминации R^2 = 94,45%.

Из уравнения (5) следует, что

$$S = 0{,}0015H - 0{,}34. \qquad (6)$$

Результаты расчета по формулам (1) и (6) приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3 значение веса снегового покрова на 1 м² земли по формулам (1) и (6) до высот 1200 м практически совпадают. С 1400 до 2000 м различие между значениями веса снегового покрова на 1 м² по формулам (1) и (6) возрастает до 1 кПа. На высоте 1600 м разница составляет 0,64 кПа.

В таблице 4 представлены расчетные значения запасов воды в снежном покрове, возможные 1 раз в 50 лет на выбранных метеостанциях Забайкальского края, Республики Бурятия и Амурской области.

По данным метеостанций, расположенных на разных высотах над уровнем моря (таблица 4), Чара, Калакан, Ср. Калар, Большая Лепринда, Катугино, Моклакан, Наминга, Удокан построена регрессионная линейная модель зависимости водозапаса в снежном покрове, мм, от высоты над уровнем моря, м, возможный 1 раз в 50 лет (рисунок 3)

$$Y = 0{,}1464x - 21{,}859. \qquad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что вес снегового покрова 2% обеспеченности составляет:

$$S = 0{,}00146H - 0{,}218, \qquad (8)$$

где H — высота, м.

Результаты расчета по формуле (8) приведены на рисунке 3.

Для проектных решений на террито-

рии создания Горно-металлургического комбината «Удокан» вес снегового покрова на 1 м^2 поверхности земли определен по данным снегомерных наблюдений на ближайших метеостанциях. Его значения в зависимости от высоты и обеспеченности представлены в таблице 5.

Заключение

Выполнены научные исследования по определению расчетных значений веса снегового покрова и значений высотного коэффициента для района строительства объекта «Горно-металлургический комбинат «Удокан». I очередь строительства на производительность 12,0 млн т руды в год».

Построена регрессионная линейная модель зависимости водозапаса в снежном покрове, мм, от высоты над уровнем моря, м, в виде линейной зависимости.

Из полученного уравнения следует, что при увеличении высоты над уровнем моря на 1 м водозапас в снежном покрове увеличивается на 0,1 мм. Тренд статистически значимый, коэффициент детерминации R^2 = 94,45%.

Получены расчетные значения веса снежного покрова на 1 м^2 поверхности земли различной обеспеченности. Его значение на высоте 1600 м над уровнем моря составляет 2,06 кПа при 4% обеспеченности и 2,12 кПа при 2% обеспеченности.

Библиография

1. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия»*

2. Технический отчет. Инженерно-гидрометеорологические изыскания «Горно-металлургический комбинат «Удокан» I очередь строительства на производительность 12,0 млн. тонн руды в год». Книга 2. Научно-техническое сопровождение. — М.: АО «Группа Компаний ШАНЭКО». 2019. 49 с.

3. Снег./Справочник под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла. Пер. с англ. под. ред. чл. — кор. АН СССР В. М. Котлякова. — Л.: Гидрометеоиздат. 1986. 751 с.

4. Погорелов А. В. Снежный покров Большого Кавказа. Опыт пространственно-временного анализа. — М.: ИКЦ «Академкнига». 2002. 287 с.

5. Залиханов М. Ч. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. Монография. — М.: Изд-во «Официальная и деловая Россия». 2014. 612 с.

eng

Adzhiev A. Kh., Bekkiev M. Y., Kondratyeva N. V., Yurchenko N. V., Akbiev R. T.

STUDIES OF CALCULATED SNOW COVER WEIGHT AND ALTITUDE COEFFICIENT VALUES IN MOUNTAINOUS AND POORLY STUDIED AREAS TO DETERMINE THE LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES

The results of determining the normative value of the snow cover weight and changes with the height of the terrain of snow weight for the designed objects of the Udokan Mining and Metallurgical Combine at altitudes from 600 to 2000 m are presented. To determine the estimated snow load on buildings and structures in the territory of the facility creation, the series of annual maximums were used the amount of water in the snow cover obtained as a result of snow-measuring route observations at high-altitude weather stations located close to the designed objects. Based on the data of weather stations, a regression linear model of the dependence of the water supply in the snow cover on the height above sea level was built. The main calculation method for finding the coefficients of a linear equation is the least squares method. It was revealed that with an increase in altitude of 1 m above sea level, the water supply in the snow cover increases by about 0,1 mm.

Keywords: snow cover weight, maximum water reserve, projected object, snow load, observation series, weather station, snow accumulation, calculated dependence, determination coefficient

References

1. SP 20.13330.2016 «SNiP 2.01.07-85 Nagruzki i vozdejstviya» (in Russian)*

2. Tekhnicheskij otchet. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya «Gorno-metallurgicheskij kombinat «Udokan» I ochered» stroitel»stva na proizvoditel»nost» 12,0 mln. tonn rudy v god». Kniga 2. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie. — M.: AO «Gruppa Kompanij SHANEKO». 2019. 49 p. (in Russian)

3. Sneg./Spravochnik pod red. D. M. Greya, D. H. Mejla. Per. s angl. pod. red. chl. — kor. AN SSSR V. M. Kotlyakova. — L.: Gidrometeoizdat. 1986. 751 p. (in Russian)

4. Pogorelov A. V. Snezhnyj pokrov Bol»shogo Kavkaza. Opyt prostranstvenno-vremennogo analiza. — M.: IKC «Akademkniga». 2002. 287 p. (in Russian)

5. Zalihanov M. CH. Snezhno-lavinnyj rezhim i perspektivy osvoeniya gor Bol»shogo Kavkaza. Monografiya. — M.: Izd-vo «Oficial»naya i delovaya Rossiya». 2014. 612 p. (in Russian)