

Методика расчёта снегопереноса для малоизученных территорий (о. Сахалин)

© 2012 г. В.А. Лобкина, Е.Н. Казакова, Ю.В. Генсировский

Лаборатория лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН, Южно-Сахалинск

valentina-lobkina@rambler.ru

Статья принята к печати 20 февраля 2012 г.

Метель, методика оценки, перенос снега ветром.

Methods of assessment, snow-storm, wind transportation of snow

Существует ряд российских и зарубежных методик, позволяющих рассчитать объёмы снегопереноса. Эти методики можно использовать для первичной оценки объёмов снегопереноса, однако при решении практических задач получаемых по ним данных недостаточно. В работе проанализированы различные методики расчёта снегопереноса. С помощью некоторых из них выполнены расчёты объёмов снегопереноса для двух южных участков западного побережья о. Сахалин.

Введение

Снежный покров существенно влияет на хозяйственную деятельность человека. Его пространственное перераспределение определяет безопасность и стоимость эксплуатации линейных и капитальных сооружений. Именно снежный покров — один из основных факторов формирования снежных карнизов на склонах, которые увеличивают лавинную опасность даже в малоснежные зимы [3]. Снежные заносы определяют косвенный экономический ущерб из-за простоя транспорта и необходимости расчистки полотна автомобильных и железных дорог. Однако при сильных метелях интенсивный снеговетровой поток представляет собой значительную угрозу для транспорта, поскольку возможно его опрокидывание.

Для решения многих практических задач необходимо знать объём снегопереноса — главного параметра при проектировании снегозадерживающих сооружений с целью защиты линейных объектов от снежных заносов. Цель настоящей работы — подобрать методику, которая лучше всего подходила бы для расчёта величины снегопереноса на малоизученной территории (на примере о. Сахалин). Для многих районов страны отсутствуют данные о характеристиках метелей, поэтому при расчёте снегопереноса мы использовали косвенные данные. Кроме того, сеть гидрометеорологических станций (ГМС) в настоящее время сокращается, большинство из них оказывается на равнинной местности. Поэтому при использовании данных ГМС для удалённых и возвышенных участков получают заниженные значения снегопереноса.

Анализ методик расчёта снегопереноса

К настоящему времени разработано большое число методик расчёта снегопереноса [3, 4, 7, 8, 12–16]. Основные из них базируются на интенсивности снегопереноса и не учитывают количество выпадающих

осадков. Наиболее полно вопросы метелевого переноса разработаны А.К. Дюниным, который детально рассмотрел процесс насыщения метелевого потока снегом [4] и создал практически весь терминологический аппарат, используемый в России для характеристики снегопереноса. Предложенный А.К. Дюниным в 1960-х годах метод балансов учитывает конкретные условия местности и количество выпадающих осадков. Однако в этой методике заложены параметры (дефицит влажности воздуха, сумма потерь твёрдых осадков, потери на испарение, средняя толщина снежного покрова в поле и на закрытой площадке в лесу и т.п.), получить которые можно лишь при длительных систематических наблюдениях в конкретном районе, поэтому использовать эту методику для расчёта снегопереноса малоизученных территорий нельзя.

Существует несколько методик, позволяющих рассчитать объёмы снегопереноса, основываясь только на данных ГМС. Большинство из них предлагают для расчёта интенсивности снегопереноса использовать формулы, приведённые в табл. 1. Видно, что формулы разных авторов имеют одинаковую структуру (произведение коэффициента пропорциональности (c) и скорости ветра (V)), однако результат получается в разных единицах измерения. Ещё одна особенность состоит в том, что разные авторы используют данные о скорости ветра на разной высоте: 1, 2, 10 м, на высоте флюгера. Кроме того, в формулах применяются эмпирические коэффициенты пропорциональности, что снижает точность расчёта в случае использовании формулы для участка, находящегося на удалении от местности, где выполнялись метелемерные наблюдения. Так, коэффициент пропорциональности Д.М. Мельника $c = 0,0129 \pm 0,0009$ (см. табл. 1) рассчитан для равнинных территорий СССР, поэтому его невозможно применять для малоизученных (не охваченных

Таблица 1. Формулы для расчёта интенсивности i и объёма Q снегопереноса

Автор методики и год публикации	Формула	Размерность	Расчёт параметра снегопереноса для скорости ветра 10 м/с
А.Х. Хргиан, 1934	$i = -3,47 + 1,5V_2 + 0,065V_2^2$	г/(см·мин)	12,0
Д.М. Мельник, 1952	$i = 0,0129V_{\Phi}^3$		12,9
В.Б. Иванов, 1954	$Q = 0,03V_2^3$	г/(см ² ·с)	20,2
А.К. Дюнин, 1954	$Q = 0,02V_1^3(1 - 4/V_1)$		12,9
А.А. Комаров, 1959	$Q = 0,0065V_1^{3,5} - 0,4$	г/(см·мин)	18,0
D. Kobayashi 1969	$Q = 0,03(V - 1,3)^3$	г/(м·с)	2,3

наблюдениями районов) и гористых районов. В предлагаемых методиках авторы называют рассчитываемую величину то интенсивностью i , то объёмом снегопереноса Q , хотя в расчётах участвуют одни и те же параметры.

Для сопоставления величин снегопереноса, рассчитываемых по разным методикам, мы провели расчёт интенсивности i и объёма снегопереноса Q для условной местности и скорости ветра, равной 10 м/с (см. табл. 1). Большинство авторов в своих расчётах принимают плотность снега равной 170 кг/м³, что соответствует свежеснегавшему снегу, перенос которого наиболее вероятен. Однако даже при слабой метели (скорость ветра 6–10 м/с [2]) происходит ветровое уплотнение снега, в результате чего его плотность может значительно возрасти. Так, при полевых исследованиях во время метели 25.02.2011 г. на участке автомобильной дороги в районе р. Чирай (береговая терраса вдоль западного побережья о. Сахалин) плотность переносимого метелевого снега составляла 200 кг/м³ (при средней скорости ветра 18 м/с). При работах на этом же участке 07.04.2011 г. при скорости ветра более 20 м/с верхний слой лежалого режеляционного снега, плотностью до 450 кг/м³, вырывало, поднимало на высоту более 2 м и переносило вдоль бровки склона на расстояние до 25 м. В целом недостатки, выявленные во всех рассмотренных методиках, не позволяют однозначно рекомендовать какую-либо из них для практического применения.

Расчёт снегопереноса для малоизученного района

При отсутствии натурных наблюдений за снегопереносом наиболее удобна для расчёта методика, описанная в работе [5]. Согласно ей, интенсивность переноса снега определяется как масса снега (в граммах), переносимая за единицу времени через площадку размером 200 см². Интенсивность переноса снега I пропорциональна скорости ветра в кубе V^3 , что подтверждается теоретическими и экспериментальными работами ряда авторов [4, 7, 11, 13]:

$$I = cV^3, \quad (1)$$

где c — коэффициент пропорциональности.

Точность расчёта интенсивности зависит от точности определения скорости ветра при метелях. Д.М. Мельник определил значения интенсивности переноса снега для 32 случаев переноса снега при скоростях ветра от 6 до 20 м/с. На основании этих данных и материалов наблюдений других авторов установлено, что если значение I выражено в формуле в г/(см·мин), то величина коэффициента c на равнинной местности находится в пределах 0,0120–0,0138, т.е. $c = 0,0129 \pm 0,0009$ [5]. Значение коэффициента c для Сахалина, согласно [7], составляет 0,0122. Благодаря простоте данная методика может использоваться в малоизученных районах для предварительной оценки характеристик снегопереноса, однако точность расчёта невысока в связи с небольшим числом входных параметров. Для расчёта переноса ветром снега за время метели с учётом угла подхода ветра к объекту используется следующая формула [5]:

$$q = I\tau \sin \alpha, \quad (2)$$

где τ — продолжительность метели; α — угол подхода ветра к объекту.

Расчёт снегопереноса для западного побережья Сахалина

Сахалин в соответствии с существующим климатическим районированием разделён на три области, которые различаются по характеру снегопереноса [6]. Во всех климатических областях условия для снегопереноса благоприятные, что связано с большим количеством выпадающих осадков и мощным отложенным снегом, который несколько выравнивает рельеф подстилающей поверхности и увеличивает за счёт этого снегосборную площадь. Однако в ряде районов объёмы снегопереноса могут значительно снижаться из-за горных хребтов, вытянутых вдоль всего острова. Горные хребты не только защищают долины от проникновения сильных ветров, но и уменьшают снегосборную площадь. Преобладающие направления переноса снега — восточный, северный и северо-западный секторы [1, 10]. Перенос в этих секторах изменяется от 50 до 90% общего объёма переносимого снега и составляет в среднем 82% общего объёма снега по всем ГМС.

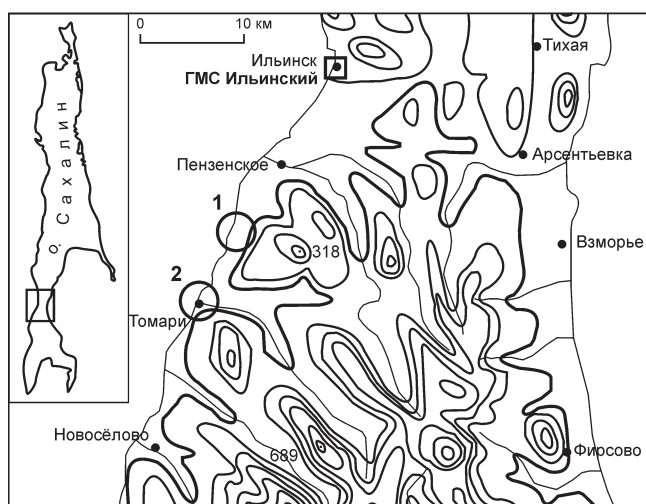


Рис. 1. Расположение участков исследований
Fig. 1. Location of study areas

Участок, для которого рассчитывался снегоперенос, относится к юго-западному климатическому району [6] и характеризуется большим количеством осадков (200–300 мм за зиму), метелевым переносом преимущественно северного и северо-западного направлений, продолжительным метелевым периодом, но сравнительно небольшой снегосборной площадью и неравномерным распределением снежного покрова. Рассчитывались интенсивность и объёмы снегопереноса по разным методикам для двух южных участков западного побережья о. Сахалин – поверхности двух морских террас в г. Томари и в 10 км севернее (р. Чирай); абс. высота бровки террасы равна 45 и 115 м соответственно (рис. 1).

Ближайшая ГМС находится в 17 км от одного участка и в 27 км от другого (с. Ильинский, абс. высота 17 м). В связи с удалённостью от неё участков работ значения метеопараметров, получаемых на ГМС и местности, сильно различаются. Так, в метель 25.02.2011 г. средняя скорость ветра, по данным ГМС, составляла 9 м/с, а максимальный порыв достигал 15 м/с, тогда как измеренные нами у бровки террасы значения составили 12 и 24 м/с соответственно. Разница значений скорости ветра достаточно велика, что приводит к значительной погрешности в расчётах при возведении скорости ветра в куб. Мы использовали в расчётах значение скорости ветра 18 м/с – среднюю скорость ветра при метелях на данных участках (по полевым наблюдениям); при этой скорости ветра метели относятся к «обычным» [2]. Средняя продолжительность метелей за зимний сезон, по данным ГМС Ильинский, составляет 476 часов [10]. Интенсивность снегопереноса рассчитывалась для преобладающих на участках работ направлений ветров: северо-западного, северного, северо-восточного и восточного (рис. 2).

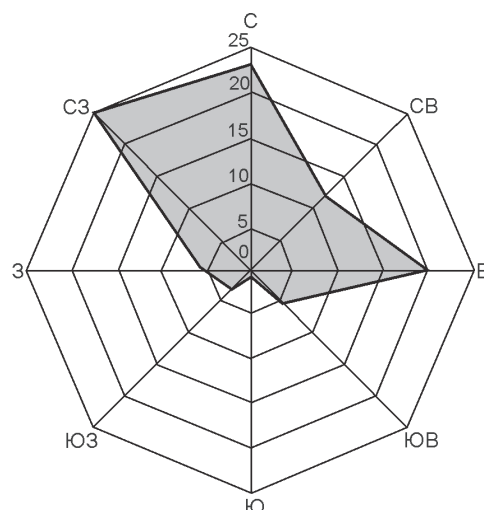


Рис. 2. Роза ветров по данным ГМС Ильинский
Fig. 2. Wind rose by hydrometeorological station Ilyinsky

В табл. 2 даны расчётные значения интенсивности снегопереноса с учётом направления ветра и угла подхода к объекту (автомобильная дорога) при средней продолжительности метелей 476 часов. Расчётный средний объём переносимого за зиму снега без учёта направления ветра при той же продолжительности метелей составляет 1277 м³/пог. м. Он согласуется с данными натурных наблюдений Д.Ф. Лазаревой [6] для этого района – 1313 м³/пог. м, которые характеризуют суммарный снегоперенос без учёта вида метелей и направления ветра и получены при анализе метелевых сезонов за 20-летний период (1947–1966 гг.).

Обсуждение результатов

Несмотря на изучение метелевого режима и снегопереноса на Сахалине (Д.М. Мельник, 1966–1969 гг.; А.К. Дюнин, с середины 1960-х до начала 1980-х годов; С.Н. Шарапов, 1981–1983 гг.; Д.Ф. Лазарева, 1970-е годы; В.П. Сучков, 1991–1997 гг.) данных для решения практических задач по расчёту снегопереноса в этом районе недостаточно [6, 7, 9, 12]. При использовании в расчётах снегопереноса значение плотности снега, равное 170 кг/м³, будет учтён только перенос снега, выпадающего во время метели, тогда как в процесс снегопереноса вовлекается и уже уплотнённый снег, характеризующийся плотностью 200–500 кг/м³. Поэтому при расчётах логично использовать значения плотности метелевого снега от 200 до 300 кг/м³.

В рассмотренных методиках снегоперенос связывают только со скоростью ветра, однако на его интенсивность и объём существенно влияют сопутствующие метеорологические и геоморфологические факторы, среди которых – рельеф, состояние поверхности снегосборной площади, температура воздуха, количество

Таблица 2. Расчётная интенсивность снеготранспорта на участках западного побережья Сахалина (р. Чирай и р. Томаринка)

Расположение участка	Направление ветра	Угол между направлением ветра и бровкой склона, градусы	Расчётная интенсивность снеготранспорта, м ³ /м
Р. Чирай	СЗ	40	821
	С	85	1272
	СВ	50	978
	В	5	111
Р. Томаринка	СЗ	79	1254
	С	34	714
	СВ	11	244
	В	56	1059

осадков и пр. Сочетание этих факторов может быть разным, поэтому и значения снеготранспорта при одинаковых скоростях ветра могут различаться.

Выводы

Все рассмотренные методики имеют недостатки, существенно влияющие на точность расчёта объёмов снеготранспорта. Среди них: недостаточное количество учитываемых факторов; использование эмпирических коэффициентов; недоучёт ландшафтных характеристик снегосборной площади; отсутствие такого важного параметра, как количество выпадающих осадков. В различных методиках при идентичном наборе входных параметров и одинаковой структуре формул результат получают в разных единицах измерения. Рассмотренные методики основываются на данных сети ГМС, поэтому достоверность расчёта зависит от точности измерений и удалённости станции от объекта, для которого рассчитывается снеготранспорт.

Для расчёта снеготранспорта в малоизученных районах, по нашему мнению, наиболее удобна методика, приведённая в работе [5]. Точный расчёт объёмов снеготранспорта для линейных сооружений в районах с большим снеготранспортом позволяет правильно выбрать экономически наиболее обоснованный вариант защиты. Таким образом, при решении практических задач расчётные методики позволяют сделать первичную общую оценку объёмов снеготранспорта, однако для получения конкретных данных, необходимых при проектировании объектов, требуются регулярные метеорологические наблюдения.

Литература

1. Генесина А.С. Основные синоптические процессы в зимний период над Сахалинской областью // Снег и лавины Сахалина. Л.: Гидрометеиздат, 1975. С. 5–12.
2. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 528 с.

3. Динамика масс снега и льда / Пер. с англ. и ред. А.Н. Кренке. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 456 с.
4. Дюнин А.К. Механика метелей. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения АН СССР, 1963. 378 с.
5. Заварина М.В. Строительная климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 312 с.
6. Лазарева Д.Ф. Климатическая характеристика снеготранспорта на Сахалине. // Снег и лавины Сахалина: Л.: Гидрометеиздат, 1975. С. 13–24.
7. Мельник Д.М., Комаров А.А., Хохлов В.А. О методе сравнительного изучения метелей // Лавины Сахалина и Курильских островов. Л.: Гидрометеиздат, 1971. С. 134–139.
8. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Изд-во Томского университета, 1977. С. 82–90.
9. Сучков В.Е. Метелевый режим Сахалина и его роль в лавинообразовании // Лёд и Снег. 2010. № 4 (112). С. 53–61.
10. Фондовый отчет Сахалинского управления Гидрометслужбы «Характеристика метелей Сахалина (1964–1974 гг.)». Южно-Сахалинск, 1975. 222 с.
11. Шарапов С.Н. Оценка объёмов снеготранспорта в прибрежной полосе о. Сахалин // Вопросы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог Сибири: Межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск: изд. НИИЖТ, 1984. С. 86–94.
12. Шарапов С.Н. Особенности защиты железнодорожных путей от снежных заносов в районах с сильными метелями (на примере Сахалинского отделения Дальневосточной железной дороги): Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Алма-Ата, 1988. 32 с.
13. Kobayashi D. Studies of snow transport in low-level drifting snow // Contrib. Inst. Low. Temp. Sci. Ser. A 24. 1972. 58 p.
14. Matsuzawa M., Ito Y., Ueda M. Method for Calculating the Amount of Accumulated Snow Transported during a Single Blizzard // Sirwec 2010. Conference Papers, Presentations and Workshops, abstract № 25. 2010. P. 1–7.
15. Naaim-Bouvet F., Bellot H., Naaim M. Back analysis of drifting-snow measurements over an instrumented mountainous site // Annals of Glaciology. 2010. V. 51. P. 207–217.
16. Radok U. Snow drift // Journ. of Glaciology. 1977. V. 19. № 8. P. 123–139.

Summary

Wind spatial redistribution of snow influences on exploitation of linear constructions; it is one of the principal factors of snow cornice's forming on slopes. Calculation of snow-drift transport is indispensable when solving of practical problems. There are not enough actual data on snow-storm's characteristics for many regions of Russia, so we should use substituted data when we calculate the volume of snow-drift transport. Currently, the snow-drift observations are not carrying out on the network of hydrometeorological stations. There are several methods to calculate volume of snow-drift transport using only data of hydrometeorological stations (methods of D.M. Melnik, A.K. Dyunin and others). In this paper, we calculated the intensity and volume of snow-drift transport for two parts of west coast of South Sakhalin using different methods. And we should conclude that there is necessity to improve snow drifting research having the aim to solve practical problems.