

УДК 551.577

Канд. техн. наук П.Ж. Кожаметов \*  
К.Т. Елеуова \*  
Б.О. Баймагамбетов \*  
А.А. Нурбацина \*

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ГРУНТ ПО ГОРНЫМ ТЕРРИТОРИЯМ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

### СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, СНЕГОМЕРНЫЙ МАРШРУТ, КАРТА 2 % ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

*По результатам наблюдений на 9 снегомерных маршрутах и 22 метеостанциях Казгидромета, расположенных в горных системах восточного Казахстана, в системе ArcGIS построена карта распределения снеговой нагрузки на грунт с повторяемостью 1 раз в 50 лет.. Наибольшие снегозапасы и соответствующие им снеговые нагрузки 2 %-ной обеспеченностью от 1,5 до 5,6 кПа отмечаются в горах западного Алтая (хребты Ульби, Ивановский, Оба). В горах Южного Алтая снеговые нагрузки изменяются от 2,4 до 5,6 кПа, хр. Листвяга – от 3,2 до 5,6 кПа, хр. Куришим от 1,5 до 2,4 кПа. В горах Тарбагатай от 2,4 до 4,0 кПа, в горах Саур от 1,2 до 1,5 кПа.*

Исследование нагрузок на сооружения является одной из главных задач строительной механики. Среди нагрузок на строительные конструкции наиболее изменчивыми, с большим статистическим разбросом, являются снеговые. Повторяющиеся повреждения покрытий зданий из-за снеговых нагрузок требуют решение этой проблемы с помощью современных подходов, незамедлительно. Эта задача является трудной и обширной, и ее решение по ряду причин оказывается недостаточным и еще далеким от исчерпания [5].

В РГП «Казгидромет» с 2013 г. выполняется работа по расчету снеговых нагрузок для адаптации и внедрения в строительные нормы РК требований Европейских нормативов с использованием ArcGIS-технологий [8].

Исследованиями снеговых нагрузок в горах Восточного Казахстана занимались Северский И.В., Благовещенский В.П., Пиманкина Н.В. [10, 12, 13, 14, 15], Воргина С.О. [1, 2], Голубцов В.В., Ли В.И. [3] и др. Об исследо-

\* РГП «Казгидромет», г. Алматы

ваниях снежного покрова учеными Казахстана и России и использованных методах обработки материалов наблюдений изложено в статье [4]. Голубцовым В.В. и Ли В.И. установлены закономерности изменения снеготолщин от высоты местности для бассейнов рек Восточного Казахстана [3].

Для получения формул зависимостей снеговых нагрузок от высоты местности использованы материалы наблюдений над снежным покровом на 9 стационарных снегомерных маршрутах (табл. 1) (строки 1 – 9) и на 14 метеорологических станциях (М) (строки 12 – 14) [6, 7]. Маршрут в строке 10 был исключен из-за малого периода наблюдений и перерыва.

Маршруты 1 – 9 включают 124 снегомерных пункта (СП), из которых 20 (16 %) находятся на высотах, равных или превышающих 2000 м БС. Наибольших высот, в пределах 2210...2460 м БС, достигают 4 маршрута: Каракаба, Белая Берель, Сарымсақты и Каргыба, расположенные в хребтах Сарымсақты, Тарбагатай, Катын. Диапазоны высот СП в 9-и маршрутах изменяются в пределах от 630 до 2460 м БС, в среднем равняясь 1545 м БС.

Карта распределения снеговых нагрузок на грунт составлялась по данным наблюдений на 9 снегомерных маршрутах и на 22 метеорологических станциях, расположенных на высотах от 396 м до 3917 м.

В табл. 2 приведены данные о высотах и осредненных параметрах снежного покрова для 22 метеорологических станций, расположенных в горных системах казахстанского Алтая и хребтах Саур и Тарбагатай.

На рис. 1 приведен график зависимости дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова от высоты местности, построенных по данным метеостанций Южного Алтая и Саур-Тарбагатай. На графике прослеживается тенденция смещения даты образования устойчивого снежного покрова на более ранние сроки, а даты разрушения на более поздние.

Так, на горных станциях (Маркаколь, Лениногорск) устойчивый снежный покров устанавливается в начале ноября, а в предгорьях в середине ноября.

На предгорной станции Бакты (441 м БС) продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет 117 суток, а на горных станциях Катон-Карагай (1067 м БС) и Маркаколь (1372 м БС) 166 и 190 суток соответственно.

По данным снегомерных маршрутов максимальные значения снежного покрова наблюдаются в феврале – марте. Средняя из максимальных высот снега составляет 63 см, изменяясь из года в год от 38 до 98 см. Наибольшая измеренная высота снега составила 156 см (М Маркаколь, 1397 м БС).

Таблица 1

Характеристики снегомерных маршрутов в бассейнах горных рек и метеорологических станций Восточного Казахстана

№ п/п	Маршрут	Бассейн	Начало наблюдений, год	Число СП / из них ≥ 2000 м, шт.	Горная система	Высота нижнего СП, м БС/номер	Высота верхнего СП, м БС/номер	Диапазон высот СП, м
1.	Оба	р. Ертис	1981	14 / 0	хр. Оба, Ивановский, Становой	1000 / 2	1630 / 14	630
2.	Шаравка	р. Ертис	1981	14 / 0	хр. Оба	630 / 1	950 / 14	320
3.	Белая Берель	р. Ертис	1955	16 / 4	хр. Кагын	1140 / 14	2420 / 4	1280
4.	Қаракаба	р. Ертис	1974	11 / 3	хр. Тарбағатай	1540/8,11	2210 / 18	670
5.	Қарғыба	р. Ертис	1968	14 / 3	хр. Тарбағатай (сев. склон)	810 / 20	2460 / 13	1650
6.	Ульби	р. Ертис	1959	16 / 2	хр. Ульби	910 / 1	2040 / 16	1130
7.	Уржар	оз. Алаколь	1958	13 / 0	хр. Тарбағатай (южн. склон)	790 / 10	1690 / 13	900
8.	Сарымсақты	р. Ертис	1953	15 / 6	хр. Сарымсақты	1490 / 30	2420 / 28	930
9.	Кендірлік	оз. Зайсан	1967 (2 СП), 2005 (8 СП)	11 / 2	хр. Саур	920 / 2	2120 / 30	1200
10.	Тургусун	р. Ертис	1977...1993, 2011	11 / 0	хр. Ивановский	500 / 1	1530 / 11	1030
12.	М хр. Тарбағатай		1970	5 / 0	хр. Тарбағатай	1947	606	1341
13.	М хр. Қалба		1970, 1977	5 / 2	хр. Қалба	815	3017	2202
14.	М хр. Қуршим		1970	4 / 0	хр. Қуршим	1012	359	653

Таблица 2  
Характеристика снежного покрова по станциям Казахстанского Алтая

Станция	Горная система, хребет	Высота, м БС	Высота снега, максимальная из наибольших, см	Число суток со снежным покровом	Дата образования устойчивого снежного покрова	Дата разрушения устойчивого снежного покрова	Запас воды в снеге, максимальный из наибольших, мм	Запас воды в снеге, средний из наибольших, мм	Значение снеговой нагрузки на грунт, кПа, ВП 2%
Зайсан	Саур	604	69	141	15.11	30.03	272	71	1,9
Тугыл	Тарбагагай	396	38	128	20.11	25.03	114	42	1,9
Аксуат	Тарбагагай	535	47	137	18.11	29.03	86	39	0,8
Акжар	Тарбагагай	649	45	141	15.11	28.03	113	52	1,0
Куршим	Нарын Куршимский	433	76	137	16.11	30.03	250	65	1,8
Улькен Нарын	Нарын	403	84	150	12.11	07.04	207	85	1,9
Самарка	Калба	496	96	150	10.11	07.04	313	153	3,1
Катон Карагай	Сарымсақты Листвяга	1067	48	166	04.11	03.04	131	50	1,3
Маркаколь	Южный Алтай	1372	<b>156</b>	190	01.11	01.05	387	253	4,4
Теректы	Азутау	615	98	139	16.11	02.04	405	161	4,5
Лениногорск	Оба Ивановский	809		174	01.11	12.04	77	40	2,6

Станция	Горная система, хребет	Высота, м ВС		Высота снета, максимальная из наибольших, см	Число суток со снежным покровом	Дата образования устойчивого снежного покрова	Дата разрушения устойчивого снежного покрова	Запас воды в снете, наибольших, мм		Запас воды в снете, средний из наибольших, мм	Значение снеговой нагрузки на грунт, кПа, ВП 2%
		3	4					8	9		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Шемонаиха		310	85	157	11.11	08.04	255	134	2,7		
Шар	Калба	338	46	137	16.11	26.03	161	60	1,6		
Жангизтобе	Калба	456	53	140	16.11	25.03	46	22	0,5		
Семей		195	51	136	17.11	25.03	122	57	5,8		
Уржар	Тарбагагай	489		138	19.11	03.04	635	214	5,8		
Кокпекты	Калба	510	117	151	10.11	09.04	348	167	3,5		
Дмитриевка		356	71	150	13.11	04.04	261	113	2,6		
Бакты	Тарбагагай	441	64	117	27.11	15.03	64	31	1,8		
Баршагас	Казах. мелкосопочник	646	44	121	26.11	25.03	124	63	1,3		
Карауыл	Казах. мелкосопочник	614	23	118	30.11	10.03	7,6	24	0,7		
Шалабай	Калба	365	40	147	14.11	01.04	134	64	1,5		

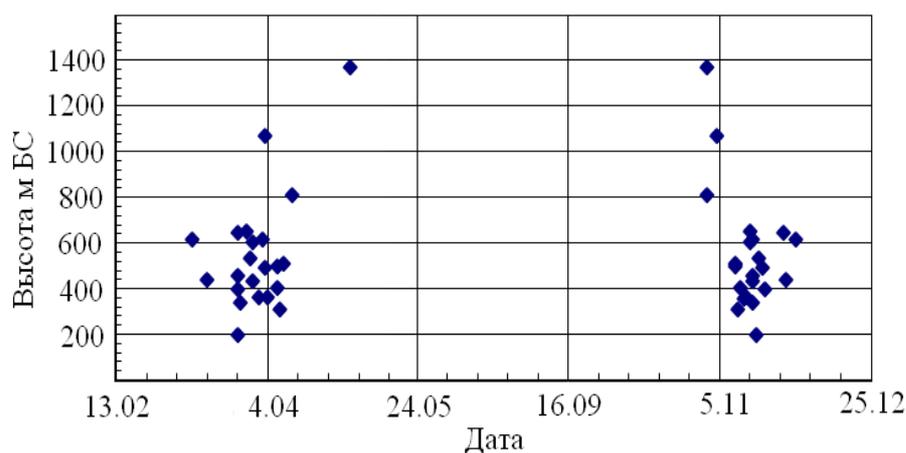


Рис. 1. Зависимости дат установления и разрушения устойчивого снежного покрова от высоты местности в горных районах Восточного Казахстана.

В табл. 2 представлены максимальные и средние запасы воды в снежном покрове, вычисленные из наибольших годовых величин, измеренных за многолетний период. Они определяют нагрузки снежной массы на грунт и перекрытия сооружений. В этой же таблице представлены рассчитанные для метеостанций снеговые нагрузки на грунт с обеспеченностью 2 %. Эти величины соответствуют Европейскому стандарту для строительства (Еврокоду-1). Определены кривые обеспеченности годовых максимальных запасов воды в снеге из наибольших многолетних значений. Они были экстраполированы до обеспеченности 2 %, т.е. до вероятности повторения 1 раз в 50 лет. Эти величины (столбец 10) пропорциональны максимальным из наибольших годовых запасов воды в снеге (столбец 8).

Для значений снеговых нагрузок на грунт обеспеченностью 2 % были определены параметры  $a$  и  $b$  в зависимости от высоты местности

$$S_k = az + b, \quad (1)$$

где  $S_k$  – снеговая нагрузка, кПа;  $z$  – высота местности, м БС;  $a$  – угловой коэффициент уравнения зависимости снеговой нагрузки от высоты местности, кПа / м БС;  $b$  – постоянный член уравнения, кПа.

В качестве примера приведена формула для расчета снеговой нагрузки для бассейна р. Берель.

Река Белая Берель является правобережным притоком р. Бухтармы и вытекает из мореных отложений Берельских ледников хр. Катун на вы-

соте 1824 м. В долинах притоков и среди котловин и впадин, особенно в верхней и средней части бассейна имеется много озер, вода в которых сохраняется в течение всего года. На всем протяжении долина реки проходит среди мощных горных хребтов. В зоне 2500 м растительность отсутствует, ниже до 2000 м – зона альпийских лугов, а ниже 2000 м – область древесно-кустарниковой растительности. Ширина долины по дну меняется в пределах 20...1600 м, преобладающая 900 м. Площадь бассейна реки у села Белая Берель составляет 1050 км<sup>2</sup>, длина 57 км. В зимний период в бассейне реки имеет место сход снежных лавин. Наиболее опасным в этом отношении является участок между СП10 и СП7.

В бассейне р. Белая Берель РГП «Казгидромет» ведет наблюдения на 13 снегомерных пунктах на высотах от 1140 до 2420 м (табл. 3). Все снегомерные пункты располагаются на прибрежных террасах основной реки и ее притоков, как правило на открытых горизонтальных участках (СП 4, СП 6, СП 7, СП 9, СП 13, СП 14) или на склонах с незначительными уклонами от 2...3° (СП 3, СП 5, СП 8) до 5...7° (СП 10, СП 12), и являются фоновыми. Наблюдения ведутся с октября 1955 года.

Таблица 3

Сведения о высоте, экспозиции и крутизне склона по месту расположения снегомерных пунктов в бассейне реки Белая Берель

Снегомерный пункт (СП)	Высота положения, м БС	Экспозиция склона	Крутизна склона, град	Снеговая нагрузка, обеспеченностью 2 % кПа
СП 3	2140	СЗ	3	11,78
СП 4	2420	горизонталь	0	11,24
СП 5	2160	З	2...3	9,21
СП 6	2010	гор	0	8,36
СП 7	1990	гор	0	8,49
СП 8	1770	ССЗ	3	7,47
СП 9	1670	горизонталь	0	7,18
СП 10	1600	ЮЮВ	5	5,47
СП 11	1660	В	5...7	4,81
СП 12	1540	Ю	5	4,32
СП 13	1240	горизонталь	0	2,58
СП 14	1140	горизонталь	0	2,35

В качестве функции распределения для максимальных запасов воды в снеге выбрано распределение экстремумов Гумбеля, которое наиболее удачно описывает эмпирические данные в верхней части кривой, в об-

ласти редкой повторяемости. По данным снегомерных пунктов была построена зависимость снеговых нагрузок от высоты местности 2 % обеспеченности (рис. 2) и определены параметры уравнения регрессии (2) с коэффициентом корреляции  $R = 0,98$ . Полученная зависимость показывает, что с увеличением высоты местности на 100 м (от 1140 до 2420 м БС), снеговая нагрузка линейно возрастает на 0,007 кПа.

Уравнение регрессии снеговой нагрузки от высоты местности для бассейна реки Берель имеет вид:

$$S_k = 0,0074z - 6,31. \quad (2)$$

Уравнение проверено на значимость с помощью F-критерия Фишера:

$$F_{крит.} = 4,96; \quad F_{набл.} = 244.$$

Фактическое (наблюденное) значение  $F_{набл.}$  превышает табличное (критическое)  $F_{крит.}$  значение, следовательно, уравнение регрессии (2) является значимым и может использоваться для расчетов снеговой нагрузки в бассейне р. Б. Берель.

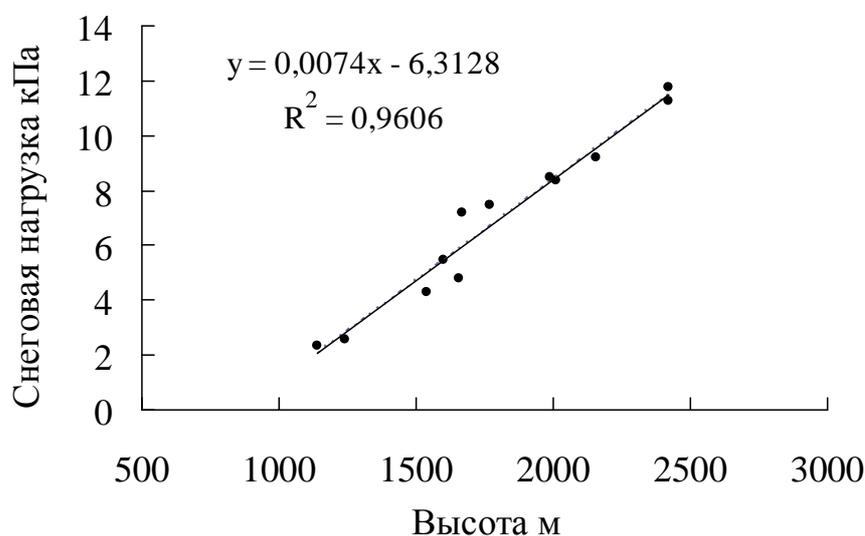


Рис. 2. График зависимости снеговой нагрузки от высоты местности в бассейне реки Б. Берель.

Эти зависимости характеризуются достаточно высокой теснотой связи, их коэффициенты корреляции равны 0,68...0,98, и по критериям Фишера они являются значимыми.

Полученные формулы позволяют рассчитывать снеговые нагрузки для указанных районов. Экстраполяция этих зависимостей за пределы высот эмпирических точек не предусматривается из-за отсутствия обоснования. Для бассейнов рассматриваемых рек с помощью ArcGIS-технологий построена карта распределения снеговых нагрузок с вероятностью превышения 1 раз в 50 лет ( $P = 2\%$ ). Растровая карта построена в масштабе 1:5000 000 с точностью до 0,1 кПа в проекции WGS\_1984\_UTM\_Zone\_42N. Аналогичным способом получены уравнения для других бассейнов рек и метеорологических станций в горах Саур, Тарбагатай, а так же хребтах Южного и Западного Алтая – Ивановский, Оба, Ульбинский, Сарымсақты, Кутунский (табл. 4).

При составлении карты использованы результаты кластерного анализа, условия расположения метеорологических станций и снегопунктов на снегомерных маршрутах в бассейнах горных рек – рельеф, экспозиция склонов, наличие водоразделов и седловин.

Учитывались также результаты исследований Института географии [9], рекомендации, руководства и публикации разных авторов [10, 11], топографические карты различных масштабов.

При выделении районов снеговых нагрузок для их картирования, использовались и данные станций, характеризующих условия открытого ровного места. Для выделения районов рассчитывался критерий оптимальности – алгоритм Прима-Краскала, границы уточнялись по индексу Чебышева.

Были рассчитаны многоплановые тесты Крускаля-Уоллиса, Вилкоксона, Манна Уитни, Серий, которые помогали относить исследуемую местность к тому или иному району.

На карте восточной части Казахстана (рис. 3) видно, что наибольшие снегозапасы и соответствующие им снеговые нагрузки 2 %-ной обеспеченностью от 1,5 до 5,6 кПа отмечаются в горах западного Алтая (хребты Ульби, Ивановский, Оба). В горах Южного Алтая снеговые нагрузки изменяются от 2,4 до 5,6 кПа, хр. Листвяга – от 3,2 до 5,6 кПа, хр. Куршим от 1,5 до 2,4 кПа. В горах Тарбагатай от 2,4 до 4,0 кПа, в горах Саур от 1,2 до 1,5 кПа.

Таблица 4

Уравнения зависимости снеговой нагрузки от высоты местности в горных районах и в бассейнах горных рек  
Восточного Казахстана

№ пп	Горная система, бассейн реки	Число снеговых пунктов	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка уравнения	Критерии Фишера расч. / критич.
1.	р. Оба, хр. Оба	14 СП	$S = 0,0043 \cdot Z - 1,2758$	0,79	0,76	21 / 4,75
2.	р. Шаравка, хр. Оба	14 СП	$S = 0,0127 \cdot Z - 3,6658$	0,89	0,46	113 / 4,75
3.	р. Берель, хр. Листвяга	11 СП	$S = 0,0074 \cdot Z - 6,3128$	0,98	0,64	244 / 4,96
4.	р. Каракаба, хр. Тарбагатай	11 СП	$S = 0,0019 \cdot Z + 1,1737$	0,84	0,31	11,6 / 6,6
5.	р. Каргыба, хр. Тарбагатай, сев. склон	14 СП	$S = 0,0049 \cdot Z - 6,276$	0,92	0,87	50,6 / 4,75
6.	р. Ульба, хр. Ульби	16 СП	$S = 0,0133 \cdot Z - 6,155$	0,91	2,26	69 / 4,67
7.	р. Урджар, хр. Тарбагатай, южн. склон	13 СП	$S = 0,0021 \cdot Z + 3,8001$	0,73	0,56	12,6 / 4,84
8.	р. Сарымсақты, хр. Сарымсақты	14 СП	$S = 0,0055 \cdot Z - 7,6123$	0,70	1,53	10,5 / 4,84

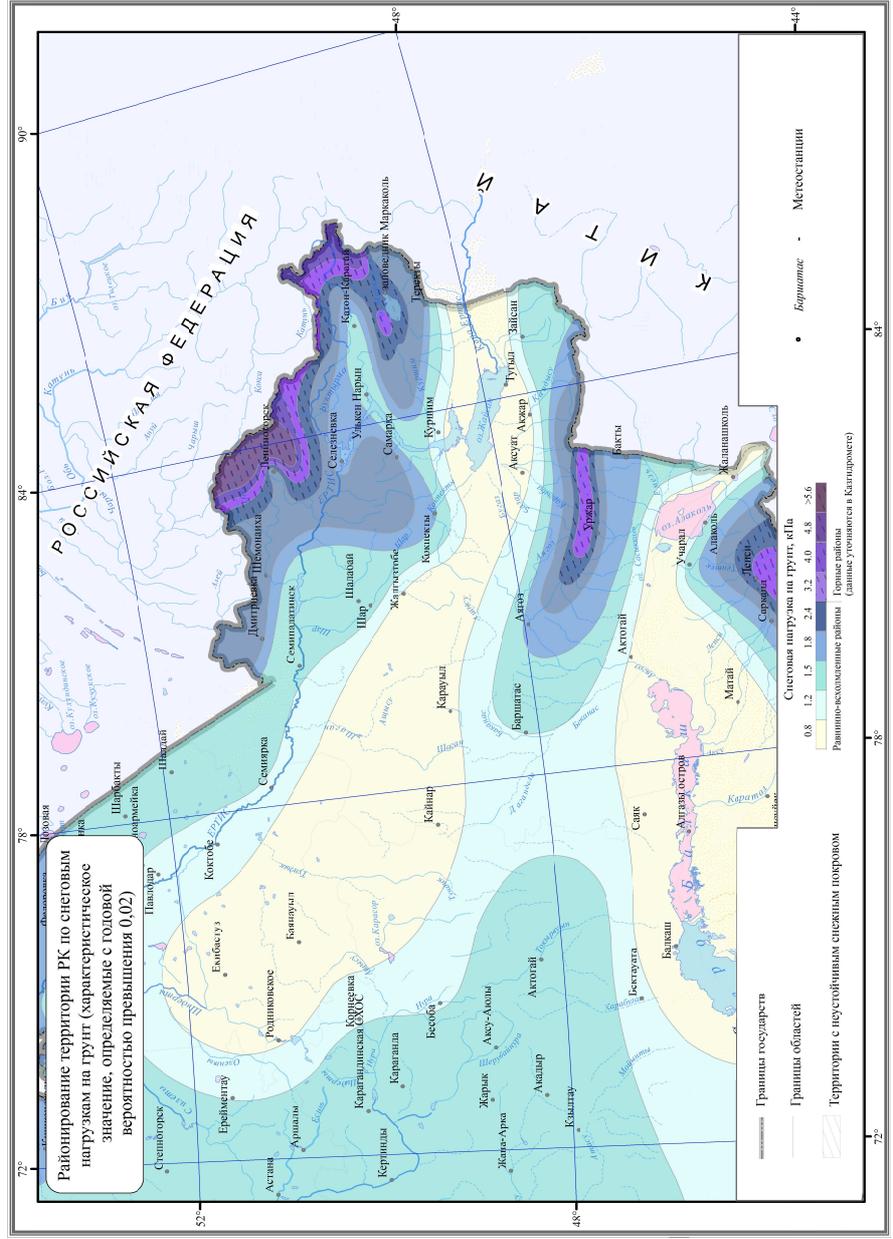


Рис. 3. Карта снеговой нагрузки на грунт в бассейнах рек Восточного Казахстана обеспеченностью 2 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воргина С.О. Районирование равнинной территории Казахстана по весу снежного покрова. // Тр. КазНИГМИ. – 1992. – Вып. III. – С. 153-157.
2. Воргина С.О. Режим снежного покрова и снеговые нагрузки на территории Республики Казахстан: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Алматы, 1994. – 18 с.
3. Голубцов В.В., Ли В.И. О предвесенних снегозапасах в горных бассейнах Восточного Казахстана. // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. – 1983. – Вып. 80. – С. 53-58.
4. Кожаметов П.Ж., Елеуова К.Т., Баймагамбетов Б.О., Нурбацина А.А. Распределение снеговых нагрузок по горным территориям юга и юго-востока Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №4 – С. 7-20.
5. Ледовской И.В. Проблемы теории снеговых нагрузок на сооружения: Автореф. дис. ... доктора техн. наук / СПбГАСУ. – СПб., 2009. – 35 с.
6. Материалы наблюдений за снежным покровом и осадками в горах (Маршрутные снегомерные съемки, наблюдения по суммарным осадкомерам). – Алматы: 1970-2012 гг.
7. Метеорологические ежемесячники. – Алмата: 1970-2011 гг.
8. Методические указания «Воздействия на несущие конструкции». – Астана: Агентство РК по делам строительства и ЖКХ, 2012.
9. Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы. – Алматы: 2010. – 149 с.
10. Пиманкина Н.И. Изменения климата и опасность сильных снегопадов и снеговых нагрузок в горах Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №3. – С. 34-44.
11. Руководство по картографическим и картоиздательским работам. – Ч. 3. Составление и подготовка к изданию топографической карты масштаба 1:1000000. – М.: 1985. – 141 с.
12. Северский И.В., Благовещенский В.П. Лавиноопасные районы Казахстана. – Алматы: Наука, 1990. – 171 с.
13. Северский И.В., Благовещенский В.П. Оценка лавинной опасности горной территории. – Алматы: Наука, 1983. – 217 с.
14. Северский И.В., Благовещенский В.П., Северский С.И., Пиманкина Н.В., Се Зичу, Жан Жизонг, Ху Руджи. Снежный покров и лавины Тянь-Шаня / МОН РК, Академия наук КНР. – Алматы, 2006. – 183 с.

15. Северский И.В., Кокарев А.Л., Пиманкина Н.В. Водные ресурсы Казахстана: Оценка, прогноз, управление. Том VI. Снежно-ледовые ресурсы Казахстана. – Алматы: 2012. – 244 с.
16. Чупахин В.М. Природное районирование Казахстана – Алма-Ата: 1970. – 261 с.

Поступила 20.02.2015

Техн. ғылымд. канд.    П.Ж. Кожаметов  
   К.Т. Елеуова  
   Б.О. Баймагамбетов  
   А.А. Нурбацина

### **ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН АЙМАҒЫНЫҢ ТАУ АУМАҚТАРЫ БОЙЫНША ҚАР ЖҮКТЕМЕСІНІҢ ТОПЫРАҚ БЕТІНЕ ТАРАЛУЫ**

*Қазгидрометтің Шығыс Қазақстанның таулы аймақтарында орналасқан 9 қар өліеу бағыты және 22 метеостансаларының бақылау нәтижелері бойынша ArcGIS жүйесінде қар жүктемесінің топырақ бетіне таралу картасы жасалынды. Ең жоғары қар қоры және сәйкесінше 2% қамтамасыздықтағы 1,5 тен 5,6 кПа қар жүктемесі Батыс Алтай (Үлбі, Ивановский, Оба жоталары) тауларында бақыланады. Оңтүстік Атай тауларында қар жүктемелері 2,4 тен 5,6 кПа аралығында, Листвяга жотасында – 3,2 ден 5,6 кПа дейін, Күршім жотасында 1,5 тен 2,4 кПа дейін. Тарбағатай тауларында 2,4 тен 4,0 кПа, Саур тауларында 1,2 ден 1,5 кПа аралығында өзгереді.*