

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 ЮГА И ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА***СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, ЕВРОКОД-1, КАРТА*

*По результатам наблюдений на 8 снегомерных маршрутах и 14 метеостанциях Казгидромета, расположенных в горных системах Каратау, Таласский Алатау, Киргизский и Илейский Алатау, Кунгей Алатау, Терискей Алатау, Узынкара (Кетмень) и Жетысуский Алатау, в системе ArcGIS построена карта распределения снеговых нагрузок на грунт с повторяемостью раз в 50 лет.*

Изменения климата и неоднократные обрушения покрытий зданий из-за больших снеговых нагрузок привели к тому, что задачи нормирования этих нагрузок и их учет в ходе проектирования сооружений стали весьма актуальными [3, 6]. В связи с этим, в Республике Казахстан осуществляется переработка строительных норм с учетом требований Европейских стандартов – Еврокода-1. Для увеличения безопасности строительства он требует повышения запаса прочности перекрытия зданий, увеличивая снеговые нагрузки, которые они должны выдержать до обеспеченности 2 %, или до вероятности повторения 1 раз в 50 лет.

В 2013 году с учетом этих требований РГП «Казгидромет» приступил к разработке проекта «Районирование территории Республики Казахстан по климатическим характеристикам» с использованием ArcGIS-технологий [6].

Исследованиями снеговых нагрузок в горах на рассматриваемой территории занимались Северский И.В., Благовещенский В.П., Пиманкина Н.В. [7, 9, 11, 12, 13], Воргина С.О. [1, 2] и др. Изучением снежного покрова в горах Средней Азии, в том числе и горных районах Тянь-Шаня и Казахстана занимались также исследователи под руководством Подрезова О.А. [8].

---

\* Казгидромет, г. Алматы

С.О. Воргиной выполнено районирование территории Казахстана по весу снежного покрова 20 % обеспеченности (повторяемостью раз в 5 лет) и построена карта распределения веса снежного покрова для равнинных территорий, с выделением 5 районов. Исходными данными послужили материалы наблюдений 421 снегомерного пункта за период 1936...1990 гг. и данные маршрутных снегомеров – 351 пункт в 17 бассейнах горных рек за периоды 35...40 лет. Изучен режим снежного покрова для всей территории Казахстана в диапазоне высот 500...3500 м БС, найдены зависимости параметров снеговых нагрузок от высоты и региональных условий.

Институтом географии под руководством академика И.В. Северского выполнены исследования снежного покрова, результаты которых вошли в Национальный атлас Республики Казахстан [9]. Кроме этого подготовлен Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан, указанный в статье [7].

В России с 2008 года действуют новые санитарные нормы и правила (СНИП), в которых используется карта нагрузок снегового покрова, построенная в ГГО им. Воейкова с учетом Еврокода-1 и с использованием последних данных. В связи с новым подходом, границы новых районов на этой карте не совпадают с прежней картой.

В данной статье представлена карта распределения снеговых нагрузок на грунт для горных территорий юго-восточного Казахстана, построенная по материалам исследований снежного покрова и их статистической обработки. Построение карты было основано на:

- материалах наблюдений за последние 40 лет (1971...2010 гг.);
- значениях снеговых нагрузок, рассчитанных с обеспеченностью 2 %, т. е. с вероятностью повторения раз в 50 лет;
- выделении районов снеговых нагрузок на грунт с помощью кластерного анализа;
- объективных способах обработки и анализа данных, и построении карты с использованием ArcGIS-технологии.

Для получения формул зависимостей снеговых нагрузок от высоты местности использованы материалы наблюдений над снежным покровом на 8 стационарных снегомерных маршрутах (табл. 1) (строки 1 – 8) и на 14 метеорологических станциях (строки 12 – 14). Маршруты в строках 9 – 11 были исключены из-за низкой тесноты связей и малого периода наблюдений.

Маршруты 1 – 8 включают 109 снегомерных пунктов, из которых 40 пунктов (37 %) находятся на высотах, равных или превышающих 2000 м БС.

Наибольших высот, в пределах 3220...3650 м БС, достигают 4 маршрута: Балдырбек, Шалкодесу, Шелек и Киши Алматы, организованных в Таласском Алатау, Илейском Алатау, Кунгей Алатау и на хребте Узынкара. Диапазоны высот снегопунктов в 8-и маршрутах изменяются в пределах от 750 до 2250 м БС, в среднем равнясь 1500 м БС.

Карта распределения снеговых нагрузок на грунт составлялась по данным наблюдений на 24 метеорологических станциях, расположенных на высотах от 396 м до 3017 м, и на 8 снегомерных маршрутах.

В табл. 2 приведены данные о высотах местности и осредненных параметрах снежного покрова для 12-и метеорологических станций, расположенных в горных системах Жетысуский Алатау, Узынкара, Териской Алатау и Илейский Алатау.

Даты образования устойчивого снежного покрова на этих станциях с увеличением высоты местности смещаются на более ранние сроки, а даты разрушения на более поздние сроки, тем самым с высотой увеличивается продолжительность залегания устойчивого снежного покрова. Так, на предгорной станции Узунагаш (814 м БС) продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет 91 сутки, а на высокогорных станциях Улькен Алматы (2516 м БС) и Мынжылкы (3017 м БС), соответственно, 191 и 232 суток. На высокогорных станциях Илейского Алатау устойчивый снежный покров устанавливается во второй половине октября начале ноября, а в предгорьях Илейского Алатау и хребта Узынкара в конце ноября – первой половине декабря. В целом, по мере увеличения высоты местности на каждые 500 м сроки установления максимума сдвигаются в сторону ранних дат (до 10...15 суток).

Наибольших высот снежный покров достигает в высокогорной части Илейского Алатау (116...138 см) и Жетысуского Алатау (102...135 см). Значительно меньшая его высота (25...60 см) отмечается на хр. Узынкара, в Териской Алатау и в низкогорьях Илейского Алатау.

Средняя максимальная высота снега составляет 65 см, изменяясь из года в год от 25...43 см до 102...138 см. Максимум чаще отмечается в период 20 февраля – 15 марта.

Сход снежного покрова наблюдается в первой половине марта – начале апреля, на высокогорье снеготаяние приходится на май-июнь, что подтверждается исследованиями Института географии [9].

В табл. 2 представлены максимальные и средние запасы воды в снежном покрове, определенные из наибольших измеренных за многолетние периоды годовых величин.

Особенности изменений в многолетнем ходе и по территории наибольших за год запасов воды в снежном покрове отражаются приведенными в табл. 2 отношениями их средних значений к максимальным, выраженными в процентах. Средняя величина этих отношений равна 45 %, и она изменяется по территории в пределах от 31 % до 58 %. Причем, значения, превышающие величину 45 %, в среднем равны 52 % и относятся к хр. Узынкара Терской Алатау и к высокогорьям Илейского Алатау. Величины отношений, меньше 45 %, равные в среднем 37 %, относятся к Жетысускому Алатау и низкогорьям Илейского Алатау. Полученные осредненные значения отклонений (52 % и 37 %) могут использоваться для соответствующих горных территорий в приближенных расчетах максимального запаса воды в снежном покрове, необходимого для расчета снеговой нагрузки по Еврокоду-1.

В дальнейших исследованиях закономерностей распределения снеговых нагрузок по горным территориям возможен учет ориентации горных систем, типов синоптических процессов и связанных с ними повторяемости выпадения твердых осадков малой и большой интенсивности.

В табл. 2 представлены рассчитанные для метеостанций за многолетние периоды снеговые нагрузки на грунт обеспеченностью 2 %. Для их определения кривые обеспеченности измеренных в горах Илейского Алатау, Кунгей Алатау, Жетысуского Алатау и хр. Узынкара годовых максимальных запасов воды в снеге из наибольших многолетних значений были экстраполированы до обеспеченности 2 %. Эти величины (столбец 10) пропорциональны максимальным из наибольших годовых запасов воды в снеге (столбец 8).

Исследование закономерностей распределения снеговых нагрузок по территории Казахстана является сложной, комплексной задачей. В данной работе произведена аппроксимация зависимостей снеговых нагрузок 2 % обеспеченности от высоты местности, определенных для отдельных снеговых маршрутов и групп метеорологических станций, расположенных на горных массивах Казахстана.

Для каждой группы данных рассматривались линейные зависимости снеговых нагрузок от высоты местности (1), параметры которых  $a$  и  $b$  определялись методом наименьших квадратов

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

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. Шелек (Чилик).

Река Шелек, являясь вторым по величине притоком р. Или, образуется от слияния рек Жангырык, Юго-восточный Талгар и Южный Иссык, берущих начало на высотах 3300...3500 м на хребтах Илейский и Кунгей Алатау. Длина реки 245 км, площадь водосбора 4980 км<sup>2</sup>.

В бассейне р. Шелек РГП «Казгидромет» ведет наблюдения на 13 снегомерных пунктах на высотах от 1800 до 3360 м (табл. 3). Все снегомерные пункты (СП) располагаются на прибрежных террасах основной реки и ее притоков, как правило на открытых горизонтальных участках (СП1, СП28) или на склонах с незначительными уклонами от 4...5° (СП2) до 13...15° (СП26), и являются фоновыми. Склоны покрыты степной и горно-луговой растительностью. Наблюдения ведутся с октября 1965 г., кроме снегопункта №28, который открылся в 2009 г. и был исключен из расчетов из-за короткого периода наблюдений. Снегопункты №1 и 2 располагаются на одной высоте 1800 м.

В качестве теоретической функции распределения для максимальных запасов воды в снеге выбрано распределение экстремумов Гумбеля, которое наиболее удачно описывает распределение эмпирических данных для экстремумов в верхней части кривой, в области редкой повторяемости. Поэтому эмпирические кривые распределения вероятностей величин снеговых нагрузок, определенных за многолетние периоды наблюдений для принятых снегомерных пунктов, были аппроксимированы теоретической кривой распределения Гумбеля и экстраполированы по ней до вероятности 2%. По данным 12 снегомерных пунктов в бассейне р. Шелек (табл. 3) была построена зависимость снеговых нагрузок 2% обеспеченности от высоты местности (рис. 1) и определены параметры уравнения регрессии (2) с коэффициентом корреляции  $R = 0,94$ . Полученная зависимость показывает, что в пределах высот от 1400 м БС до 3500 м БС с увеличением высоты местности в бассейне р. Шелек на 100 м, снеговая нагрузка линейно возрастает на 0,19 кПа.

Уравнение зависимости (регрессии) снеговой нагрузки от высоты местности для бассейна р. Шелек имеет вид:

$$S_k = 0,0019z - 1,902. \quad (2)$$

*Рис. 1. Зависимость снеговой нагрузки от высоты местности в бассейне р. Шелек (Илейский Алатау).*

Уравнение проверено на значимость с помощью F-критерия Фишера:

$$F_{\text{крит}} = 4,96; \quad F_{\text{набл.}} = 74,4.$$

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

Аналогичным способом получены линейные уравнения зависимостей снеговых нагрузок от высот местности для других снегомерных маршрутов в бассейнах рек и для метеорологических станций (табл. 4). Эти зависимости характеризуются достаточно высокой теснотой, их коэффициенты корреляции равны 0,83...0,99, и по критериям Фишера они являются значимыми. Только зависимость для юго-западного склона Жетысуского Алатау, построенная по малому числу (4) метеостанций имеет примерное равенство (18,3 и 18,5) расчетного и критического значений этого критерия.

Полученные формулы позволяют рассчитывать снеговые нагрузки для указанных районов в зависимости от высот местности, в пределах высот расположения использованных снегомерных пунктов. Экстраполяция этих зависимостей за пределы высот эмпирических точек не предусматривается из-за отсутствия обоснования.

При анализе полученных уравнений (табл. 4) была отмечена тенденция упорядоченного изменения их угловых коэффициентов вдоль горных хребтов. Эти коэффициенты, отражающие величины градиентов снеговых нагрузок, уменьшаются вдоль каждого хребта в направлении с запада на восток.

Для Жетысуского Алатау градиенты изменяются в указанном направлении как 0,54; 0,49; 0,15 кПа/100 м, для системы Илейского Алатау и Кунгей Алатау – 0,36; 0,14; 0,19 кПа/100 м, для Таласского Алатау – 0,82; 0,29 кПа/100 м, для хребта Каратау – 0,53; 0,21 кПа/100 м. Возможно, эти изменения связаны с направлением переноса осадков в атмосфере и ориентацией форм рельефа.

Для рассматриваемых горных районов по полученным формулам рассчитаны диапазоны изменений снеговых нагрузок 2 % обеспеченности (табл. 4). С помощью ArcGIS-технологий построена карта распределения снеговых нагрузок с вероятностью превышения 1 раз в 50 лет ( $P = 2\%$ ) (рис. 2).

Растровая карта построена в масштабе 1:5 000 000 с точностью до 0,1 кПа в проекции WGS\_1984\_UTM\_Zone\_42N.

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], топографические карты различных масштабов.

При картировании снеговых нагрузок использовались данные станций, характеризующих условия открытого ровного места. Для выделения районов рассчитывался критерий оптимальности – алгоритм Прима-Краскала, границы уточнялись по индексу Чебышева. Был проведен расчет многоплановых тестов Крускаля-Уоллиса, Вилкоксона, Манна Уитни, которые помогали относить исследуемую местность к тому или иному району.

На приведенной карте (рис. 2) и в табл. 4 видно, что наибольшие снегозапасы и соответствующие им снеговые нагрузки 2 %-ной обеспеченности (1,5...10,7 кПа) отмечаются в горах Жетысуского Алатау. В районах наблюдений Илейского Алатау снеговые нагрузки изменяются от 1,0 до 9,1 кПа, от 2,3 до 7,1 кПа – в горах Таласского Алатау и от 1,4 до 8,5 кПа – в горах Каратау.

#### 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. Ледовской И.В. Проблемы теории снеговых нагрузок на сооружения: Автореф. дис. ... доктора техн. наук / СПбГАСУ. – СПб., 2009. – 35 с.
4. Материалы наблюдений за снежным покровом и осадками в горах (Маршрутные снегомерные съемки, наблюдения по суммарным осадкомерам). – Алматы: 1970-2012 гг.
5. Метеорологические ежемесячники. – Алмата: 1970-2011 гг.
6. Методические указания «Воздействия на несущие конструкции». – Астана: Агентство РК по делам строительства и ЖКХ, 2012.
7. Пиманкина Н.И. Изменения климата и опасность сильных снегопадов и снеговых нагрузок в горах Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №3. – С. 34-44.
8. Подрезов О.А. Методические принципы построения региональных карт ветровых и региональных нагрузок для горных районов// Доклады по



Таблица 1

Характеристики снегомерных маршрутов в бассейнах горных рек и метеорологических станций юго-восточного Казахстана

№ п/п	Маршрут	Бассейн реки	Начало наблюдений, год	Число снегопунктов / из них выше и равно 2000 м, шт.	Горная система	Высота верхнего снегопункта, м БС	Высота нижнего снегопункта, м БС	Диапазон высот снегопунктов, м
1	Боралдай	Арысь, Шу	1969	16 / 0	Хребты Каратау, Боролдайтау	1650	700	950
2	Балдырбек	Арысь, Шу	1954	15 / 4	Хребет Огем (Таласский Алатау, юго-западный склон)	3270	1610	1660
3	Жабагылысу	Арысь, Шу	1978	10 / 1	Хребет Огем (Таласский Алатау)	2050	1300	750
4	Киши Алматы	Иле, оз. Балкаш	1950	14 / 8	Хребет Илейский Алатау	3650	1400	2250
5	Шелек	Шелек, оз. Балкаш	1965	13 / 7	Хребет Кунгей Алатау	3360	1430	1930
6	Шалкодесу	Шарын, оз. Балкаш	1950	16 / 14	Хребты Кетмень, Каратау	3220	1910	1310
7	Каратальский	Каратал, оз. Балкаш	1950	10 / 5	Хребет Жетысуский Алатау	2720	1300	1420
8	Малый Баскан	Лепси. оз. Балкаш	1969	15 / 1	Хребет Жетысуский Алатау	2880	1150	1730
9	Мерки	Шу	1957	11 / 7	Хребет Кыргызский	3650	1240	2410
10	Турген	Турген	1965	13 / 8	Хребет Илейский Алатау	3280	1160	2120
11	Баянкол	оз. Балкаш	1966	16 / 16	Хребет Терской Алатау	2990	2030	960
12	Метеостанции хр. Каратау		1970	5 / 0	Хребет Каратау	1947	606	1341
13	Метеостанции хр. Илейский Алатау (сев. склон)		1970, 1977	5 / 2	Хребет Илейский Алатау	815	3017	2202
14	Метеостанции Жетысуского Алатау (сев. склон)		1970	4 / 0	Хребет Жетысуский Алатау	1012	359	653

Таблица 2

## Характеристика снежного покрова по метеостанциям Северного Тянь-Шаня

Метеостанция	Горная система	Высота над уровнем моря, 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 и ( ) отношение запасов средних к максимальным, %	Снеговая нагрузка на грунт обеспеченностью 2 %, кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лепсы	Жетысуский Алатау	1082	135	161	07.11	12.04	490	218 / 44	4,6
Когалы	Жетысуский Алатау	1410	102	150	15.11	03.04	477	160 / 34	4,1
Кыргызсай	хр. Узынкара	1273	38	110	08.12	10.03	78	43 / 55	0,9
Кеген	хр. Узынкара	1845	25	107	30.11	26.02	41	23 / 56	0,6
Нарынкол	Терискей Алатау	1806	42	135	18.11	23.03	84	49 / 58	1,0
Ассы	Илейский Алатау	2216	43	150	25.11	31.03	119	56 / 47	1,2
Жаланаш	Илейский Алатау	1699	50	130	24.11	17.03	227	71 / 31	1,8
Мынжылкы	Илейский Алатау	3017	138	232	20.10	19.05	490	226 / 46	4,7
оз. У. Алматы	Илейский Алатау	2516	116	191	04.11	23.04	317	164 / 52	3,4
Есик	Илейский Алатау	945	60	118	03.12	14.03	143	51 / 36	1,7
Узынагаш	Илейский Алатау	814	37	91	14.12	23.02	109	44 / 40	1,1

Таблица 3

## Положение и снеговые нагрузки снегомерных пунктов в бассейне р. Шелек

Снегомерный пункт	Высота над уровнем моря, м БС	Экспозиция склона	Крутизна склона, град.	Снеговая нагрузка обеспеченностью 2 %, кПа
1	1800	Горизонталь	0	1,67
2	1800	В	4...5	1,66
3	1430	С	7...8	0,82
4	1500	Горизонталь	0	0,87
20	1640	СВ	7...8	0,94
21	1850	СВ	10	1,47
22	2100	СЗ	7...9	2,78
23	2300	В	10...15	1,95
24	2370	С	12...15	2,21
25	2850	С	3...5	2,56
26	3050	СЗ	13...15	4,04
27	3360	В	10...12	4,85
28	2660	Горизонталь	0	1,67

Таблица 4

Расчет снеговой нагрузки 2 % обеспеченности в зависимости от высоты местности в горных районах Юго-Восточного Казахстана

Горная система, бассейн реки	Число метеостанций, снегомерных пунктов	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции	Ошибка уравнения	Критерии Фишера расч./крит.	Диапазоны высот, м БС	Диапазоны снеговых нагрузок 2 % -ной обеспеченности, кПа
1	2	3	4	5	6	7	8
Хр. Жетысуский Алатау, р. Каратау	10 СП	$S = 0,0054z - 3,90$	0,98	0,569	223 / 5,3	1300...2700	3,12...10,68
Хр. Жетысуский Алатау, ЮЗ склон	4 МС	$S = 0,0049z - 0,69$	0,95	0,62	18,3 / 18,5	300...1000	1,46...4,16
Хр. Жетысуский Алатау, р. М. Баскан	15 СП	$S = 0,0015z - 0,19$	0,96	0,245	154 / 4,67	1100...2900	1,46...4,16
Хр. Узынкара, р. Шалкодесу	15 СП	$S = 0,002z - 2,81$	0,83	0,421	29,5 / 4,67	1900...2800	0,99...2,79
Хр. Илейский Алатау, р. К. Алматы,	12 СП	$S = 0,0036z - 3,86$	0,92	1,012	52,7 / 4,96	1400...3600	1,18...9,10
Хр. Илейский Алатау, С склон	5 МС	$S = 0,0014z - 0,18$	0,98	0,301	86,6 / 10,1	800...3000	0,94...4,02
Хр. Кунгей Алатау, р. Шелек	12 СП	$S = 0,0019z - 1,90$	0,94	0,452	74,4 / 4,96	1430...3360	0,82...4,48
Хр. Таласский Алатау, р. Балдырбек	12 СП	$S = 0,0082z - 10,10$	0,85	0,748	25,8 / 4,96	1610...2100	3,02...7,12
Хр. Таласский Алатау, р. Жабаглысу	10 СП	$S = 0,0029z - 1,51$	0,84	0,433	19,7 / 5,3	300...2000	2,26...4,29
Хр. Каратау, ЮЗ склон	5 МС	$S = 0,0053z - 1,8$	0,99	0,36	272 / 10,1	600...1950	1,38...8,54
Хр. Каратау, р. Боралдай	15 СП	$S = 0,0021z + 0,46$	0,89	0,237	51 / 4,67	700...1650	1,93...3,93

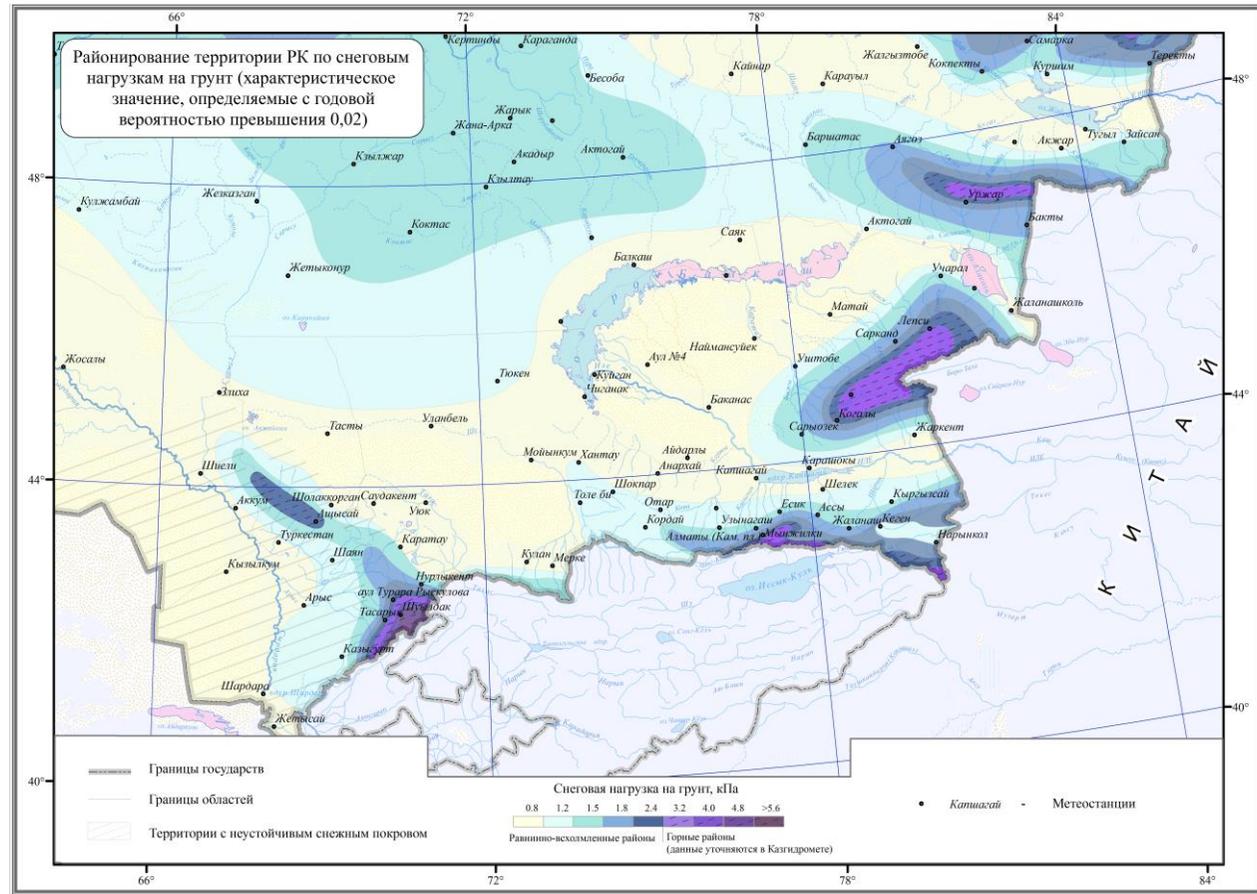


Рис. 2. Карта снеговой нагрузки на грунт обеспеченностью 2 %.