

Тур В.В., Валуев В.Е., Дереченник С.С., Мешик О.П.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕГОВОГО ПОКРОВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка данных наблюдений за снеговым покровом и обоснование метода картографирования метеорологической информации

Нормативные снеговые нагрузки на здания и сооружения, назначаемые проектировщиками путем прямого использования разобраных необработанных материалов снегомерных и осадкомерных наблюдений, часто содержат в себе существенные знакопеременные ошибки, что вызывает необходимость комплексной статистической обработки исходных данных и принятия обоснованного решения в каждом частном случае. При этом, в процедуру предварительной обработки данных наблюдений включается, прежде всего, оптимизация пространственного расположения опорных расчетных точек, их количества, обеспечивающего неискаженную картину пространственно-временного распределения снегового покрова, анализ качества и расширение объема принятой к использованию метеорологической информации.

В настоящем исследовании использованы экспериментальные данные за период наблюдений с 1945 по 2006 год по 27 «характерным» пунктам Беларуси (табл. 1). Схема расположения пунктов наблюдений за параметрами снегового покрова приведена на рис. 1.

Таблица 1. Перечень «характерных» пунктов наблюдений на территории Беларуси для исследования параметров снегового покрова

1 Брест	15 Борисов
2 Барановичи	16 Марьина Горка
3 Пинск	17 Вилейка
4 Пружаны	18 Могилев
5 Высокое	19 Горки
6 Ивацевичи	20 Костюковичи
7 Ганцевичи	21 Витебск
8 Житковичи	22 Верхнедвинск
9 Гомель	23 Езерище
10 Василевичи	24 Пынтупы
11 Гродно	25 Шарковщина
12 Лида	26 Лепель
13 Новогрудок	27 Полоцк
14 Минск	

Причисляемые «Гидрометцентром» к «характерным» 27 пунктов наблюдений за снеговым покровом расположены по территории Беларуси неравномерно, их недостаточное количество снижает уровень репрезентативности исходной информации и, как следствие, – представляемых на картах характеристик снегового покрова. Визуально можно наблюдать, что большая часть территории Беларуси не охвачена данными по снеговому покрову: южная часть Витебской области; северная часть Припятского Полесья. При использовании в процессе картографирования недостаточного количества данных, карты дают лишь общее представление о пространственном распределении по территории Беларуси характеристик снегового покрова, поэтому целесообразно при картографировании использовать дополнительные материалы аналитических оценок и

расчетов базовых характеристик снегозапасов.

Существует определенный опыт разработки карт различных физико-географических характеристик, представляющих собой непрерывные функции, выведенные по результатам наблюдений в дискретных контрольных точках. В качестве таких точек используются метеопункты, где ведутся наблюдения за картографируемыми характеристиками. Однако по ряду характеристик, таких как радиационный баланс, турбулентный теплообмен и др., имеется лишь несколько точек наблюдений на всей территории Беларуси. В этих случаях качество географических карт всецело зависит от субъективных оценок исследователя, и на первый план выступает проблема обоснования рациональной схемы распределения расчетных точек по исследуемой территории.

Требование к репрезентативному расположению точек с информацией – важное условие, необходимое при выполнении многих видов анализов, в частности, – анализа поверхностей тренда. Достоверность карты находится в прямой зависимости от плотности и равномерности расположения точек с информацией. Критерии, применяемые для определения равномерности, не представляют большой сложности в практическом использовании.

Опорные точки могут соответствовать местам проведения наблюдений (расчетов) или быть точками проекции. Инструментом собственно картографирования основных характеристик снегового покрова на настоящем этапе может выступать пакет SURFER, требующий двумерных наборов данных, описываемых функцией $Z=f(x, y)$.

Существующие схемы расположения точек на картах удобно разделить на три категории: равномерные, случайные и групповые. Конечно, для большинства карт характерны схемы распределения точек, занимающих промежуточное положение между перечисленными крайними типами, и обычно задача заключается в классификационном отнесении имеющейся схемы к одному из этих типов.

Оптимальное количество опорных точек должно обосновываться для каждой картографируемой характеристики. В случае недостатка точек опорной сети с информацией, в обобщениях необходимо использовать аналитические зависимости, учитывающие факторы климатообразования и косвенные физико-географические признаки, в том числе через введение трехмерной функции пространственного распределения исследуемой характеристики

$$M_{ij}=f(\varphi_j, \lambda_j, H_j), \quad (1)$$

где M_{ij} – величина физико-географической характеристики в (j)-точке, за (i)-период; φ_j, λ_j – соответственно, используемая нами географическая широта и долгота метеопункта; H_j – абсолютная отметка высоты точки.

Оценку репрезентативности пространственного распределения расчетных точек, на наш взгляд, можно выполнить с помощью критерия (χ^2). При этом, исследуемая территория делится на определенное количество исследуемых участков, содержащих контрольные точки. Размеры участков определяются, исходя из предпосылки объединения исследуемых характеристик в пространственно-временные поля, аппроксимируемые пространственными корреляционными функциями. Внутри выделенных участков (областей)

Тур Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов, проректор по научной работе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Валуев Владимир Егорович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Дереченник Станислав Станиславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин и систем Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Мешик Олег Павлович, доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

ул. Московская, 267, УО БрГТУ, 224017, г. Брест, Беларусь

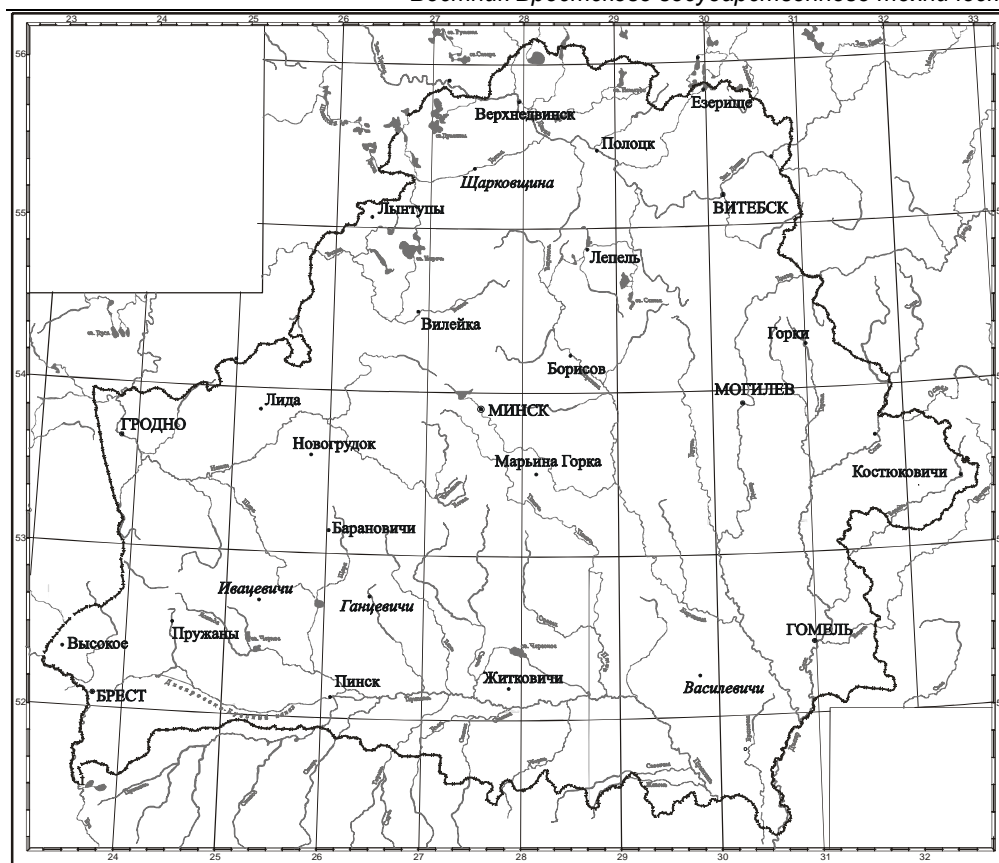


Рис. 1. Схема расположения на территории Беларуси «характерных» пунктов наблюдений за параметрами снегового покрова

оценки репрезентативности осуществляются обычно при допущении, что оптимальным расстоянием (шагом) между метеопунктами является 20 километров. При существующей плотности метеорологической сети на локальных территориях (20x20 км) вообще могут отсутствовать метеопункты, как в нашем исследовании снеготолщин. Исходя из этого, в качестве границ областей могут использоваться косвенно установленные границы полей построенных нами изокоррелятов твердых осадков.

Критерий (χ^2) теоретически не зависит от формы и ориентирования в пространстве областей. Если существующие метеопункты расположены равномерно по территории, то каждая выделенная область будет содержать равное количество точек. Критерий (χ^2) определяется по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{s=1}^n \frac{(N_s - X)^2}{X} \quad (2)$$

Полученные значения (χ^2) сравниваются с критическими, и делаются соответствующие выводы о репрезентативности пространственного расположения точек наблюдений. Заметим, что этот вывод касается только однородности распределения точек по участкам определенного размера. Вполне возможно, что существует такой вариант размера квадрата (особенно если он меньше, чем выбранный), при котором гипотеза о равномерности будет отклонена.

Выбор рационального метода картографического отображения характеристик снегового покрова нами основывается на следующих факторах: индивидуальных особенностях объекта (явления, информации), его размещения, структуры; задачах картографирования информации при создании карты; содержания и вида исходной информации, методов ее обработки и возможностей локализации этой информации на основе карт и по другим материалам. При выборе метода картографического отображения также учитываются общие закономерности пространственного размещения явлений (объектов) и типов их пространственно-территориальных структур (например, предварительно установленный ход изолиний сумм атмосферных осадков – жидких и твердых).

Уместно отметить, что наиболее широко известны следующие методы картографического отображения: *значков, линейных знаков, ареалов, качественного фона, изолиний, картодиаграммы, картограммы, точечный метод.*

С учетом вышеизложенного, а также, беря во внимание положение, что *карты снеговых нагрузок* предназначены не только для общей качественной оценки складывающейся метеорологической ситуации в зимний период на конкретных территориях, а являются источником количественной информации для исследователей и проектировщиков, в качестве основного приема построения карт выступает *метод изолиний*. При построении карт возможно использование также метода качественного фона, еще более наглядного.

При построении карт в изолиниях, кроме исключения субъективности исследователя, имеется возможность осуществлять динамическое картографирование различных отклонений, проводить ретроспективное сравнение картированной информации. Особенно актуально последнее. Скажем, выявить антропогенное влияние на структуру и динамику распределения по исследуемой территории различных метеорологических характеристик. Принятый метод картографирования должен обеспечивать однозначно точное представление данных в контрольной точке, быть постоянным в пределах площади картографирования. Предполагается наличие автокорреляции на расстоянии, превышающем среднее расстояние между опорными точками. Автокорреляция говорит о том, что значения в соседних точках тесно связаны между собой. Это подтверждается ранее выполненными нами исследованиями синхронности выпадения атмосферных осадков, в ходе которого выделены районы, объединяющие действительно *характерные* опорные точки.

Для построения карты требуется подготовленная математическая поверхность, разбитая на квадратные ячейки, полностью перекрывающие картируемую площадь. Чем меньше будет ячейка, тем выше разрешающая способность карты. Задача подготовки поверхности сводится к определению значений исследуемых показателей в узлах принятой сетки по данным близлежащих контрольных точек. Изолинии проводятся не по данным опорных точек наблюдений, а по вычисленным значениям в узлах сети. Это условие особенно важно, когда распределение точек наблюдений по территории неравномерно и их количество недостаточно для построения карты традиционными методами; например, триангуляции. Если картируемую

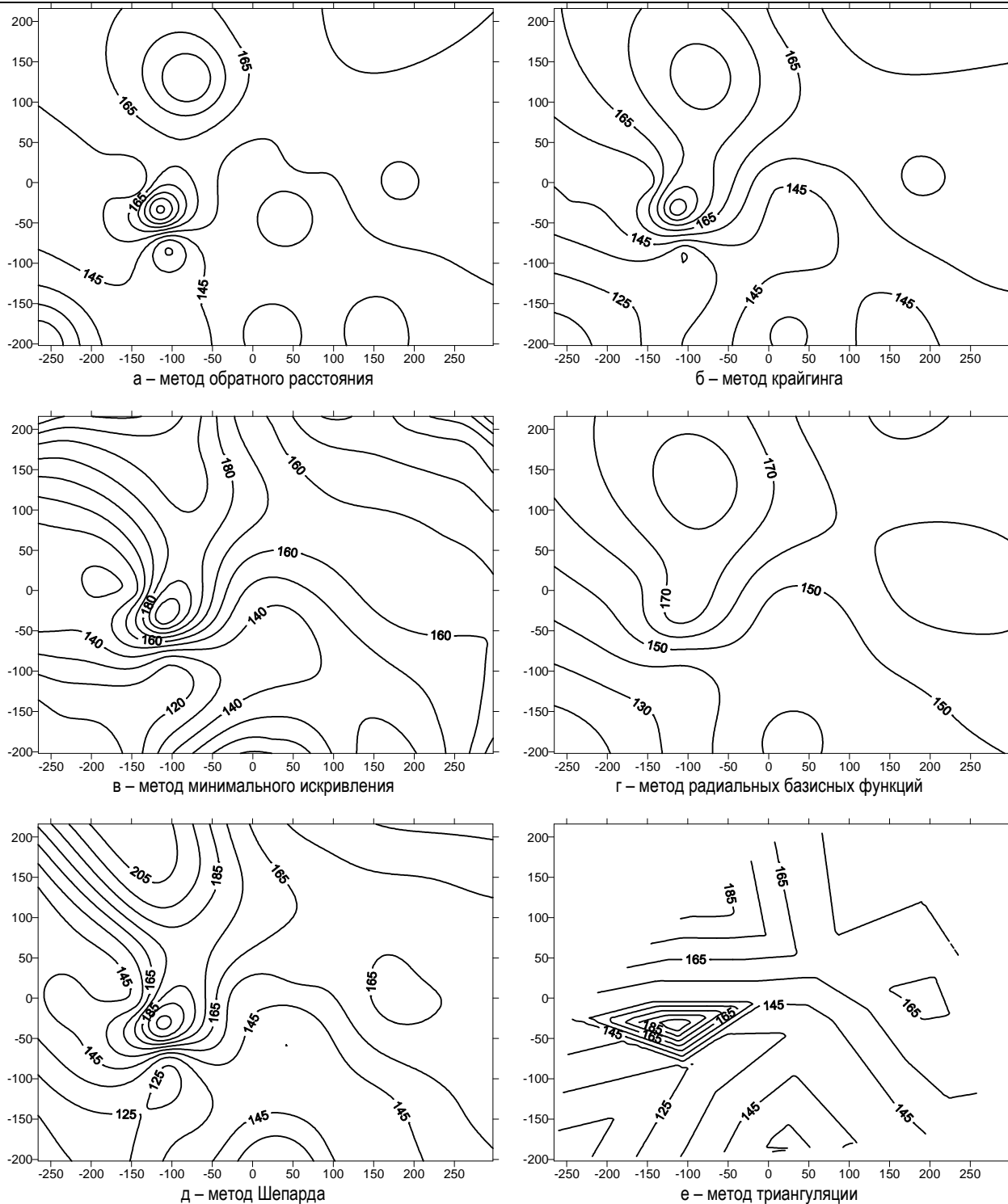


Рис. 2. Распределение максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси, полученное различными методами картографирования

площадь разбить на крупные ячейки, то при плавном наклоне поверхности может иметь место смещение отдельных изолиний от контрольных точек, с которыми они должны согласовываться (прохождение изолинии с противоположной стороны от контрольной точки).

Подавляющее большинство методов построения карт в изолиниях сводится к оценке значений по близлежащим контрольным точкам. В этом случае, при построении карты на подготовленной математической поверхности, большинство узлов интерполяции будет лежать в промежутке между значениями контрольных точек. Значения в узлах, находящиеся за пределами контрольных точек, получаются экстраполяцией и будут близкими по величинам к значениям крайних точек наблюдения. Контрольные точки по отношению к узлу сети являются взвешенными, а веса устанавливаются в зависимости от их удаленно-

сти друг от друга. Сумма весов контрольных точек одного узла равна единице. В этой связи, можно установить наиболее удаленную контрольную точку от узла регулярной сети, которая участвует в оценивании. Весовая функция обратных значений квадратов расстояний шкалируется, принимаемые ею значения находятся в пределах $0 \leq w \leq 1$. Этот процесс записывается в виде

$$w = \left(1 - \frac{D}{D_{\max}} \right)^2 / \left(\frac{D}{D_{\max}} \right), \quad (3)$$

где D – расстояние до оцениваемой точки; D_{\max} – расстояние до наиболее удаленной точки.

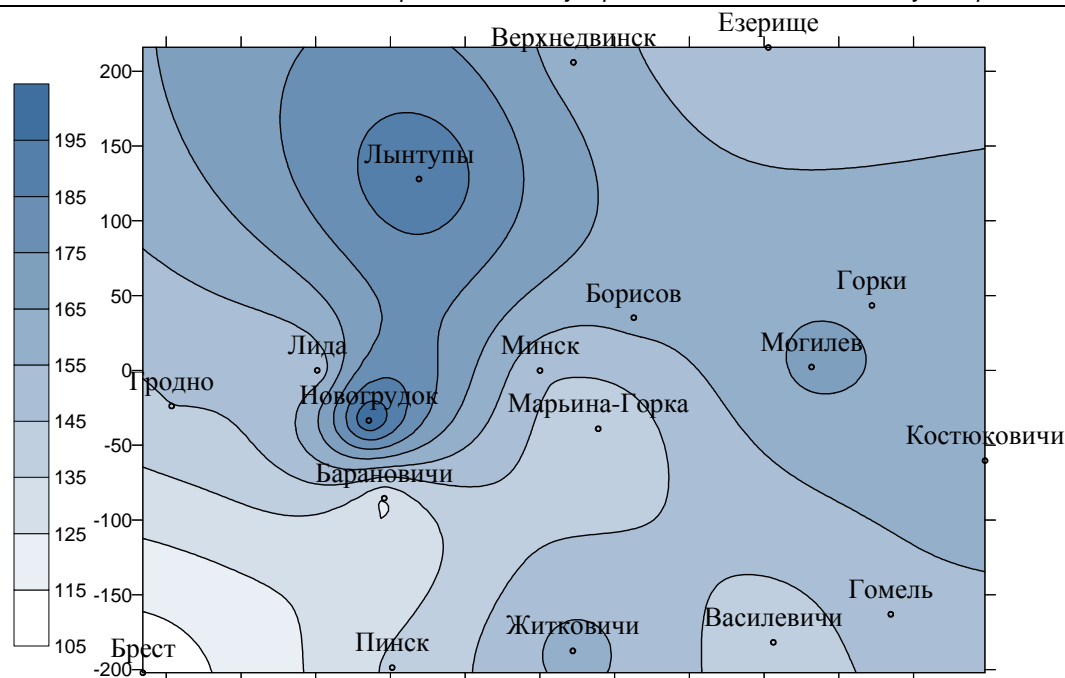
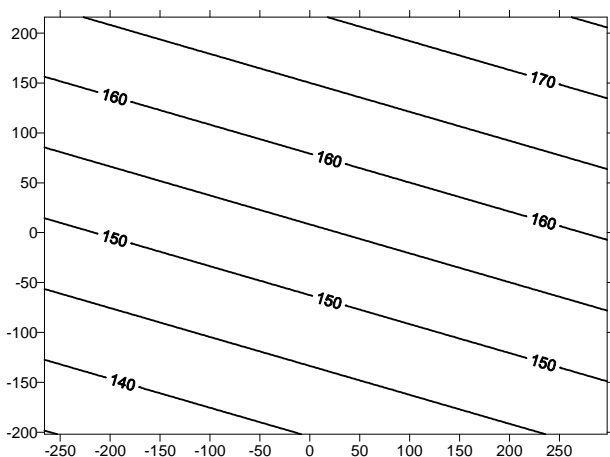
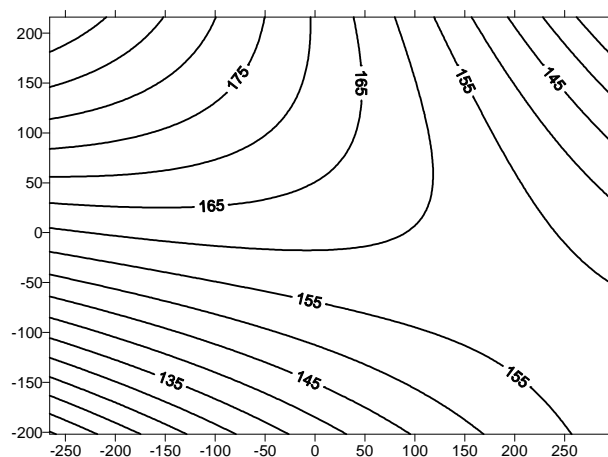


Рис. 3. Распределение максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси, мм



а – линейная



б – полиномиальная

Рис. 4. Поверхности тренда максимальных запасов воды в снеге (мм) на территории Беларуси

Надежным критерием выбора метода является вид изолиний, который показывает, насколько точно принятая математическая модель описывает контрольные (опорные) точки. Практически невозможно установить статистическим путем – какой метод построения изолиний надежнее. Решение принимается в каждом конкретном случае, в зависимости от вида картируемой характеристики, качества исходных данных, их плотности и равномерности пространственного распределения. Основная цель построения карты в изолиниях – обеспечить максимальное соответствие исходных данных значениям, устанавливаемым картой.

Наиболее перспективными, на наш взгляд, являются следующие методы построения карт в изолиниях: метод обратных расстояний, крайгинг, метод минимального искривления, радиальные базисные функции, метод Шепарда, метод триангуляции.

При решении задач пространственного обобщения снегозапасов для целей статистического прогнозирования снеговых нагрузок нами использованы вышеперечисленные альтернативные методы. На рис. 2 представлены карты территориального распределения максимальных запасов воды в снеге, построенные с использованием наблюдаемых данных и различных методов картографирования.

Выполненный анализ точности построения изолиний, их соответствия опытным данным в контрольных точках показал, что в условиях недостаточности информации по характеристикам снего-

го покрова, неравномерности ее распределения по исследуемой территории в качестве основного метода при построении изолиний должен использоваться крайгинг. По мере необходимости, при сравнительном анализе, нами используются, в рабочем порядке, карты, построенные с использованием альтернативных методов.

ПОСТРОЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАРТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕГОВОГО ПОКРОВА

Адаптированные к задачам исследования, методы картографирования широко использованы при пространственном обобщении основных характеристик снегового покрова.

На рис. 3 приведена в укрупненном виде карта распределения на территории Беларуси максимальных запасов воды в снеге, построенная с использованием крайгинга.

Тренд-анализ позволил по эмпирическим данным выделить систематическую и случайную компоненты. Традиционно тренд-анализ используется в геологии, при разведке и оконтуривании месторождений нефти и газа. В то же время, анализ поверхностей тренда перспективен в метеорологии, географии, технике и, в частности, при исследовании воздействия снеговых нагрузок на здания и сооружения. Тренд представляет собой плоскость, описанную аппроксимирующей функцией. В структуре природных процессов представляется возможным выделять глобальную (систематическую),

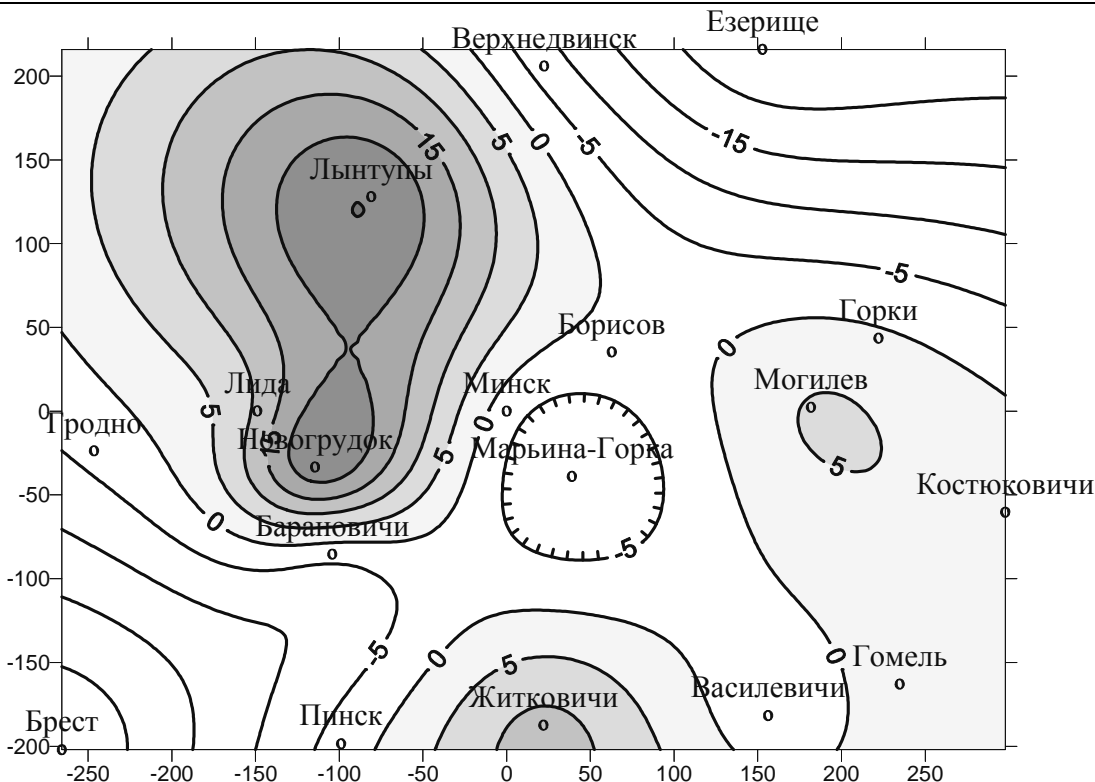


Рис. 5. Карта разностей величин максимальных запасов воды в снеге (рис. 3) и линейной поверхности тренда (рис. 4 а) – вклад региональных факторов

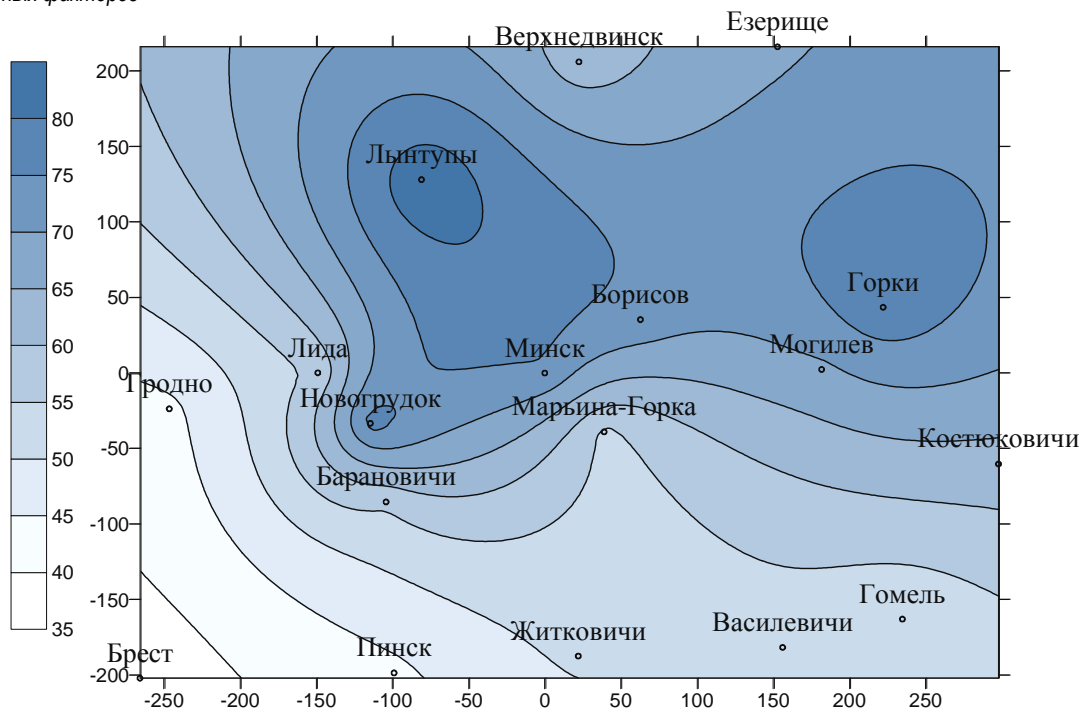


Рис. 6. Распределение средних максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси, мм

региональную и локальную (случайную) составляющие. Эти понятия субъективно связаны с размерами исследуемых территорий. Глобальную (фоновую) компоненту легко оценить с помощью линейной поверхности тренда, отражающей зависимость природного процесса от общепланетарных факторов – географической широты и долготы местности. Например, линейная поверхность тренда максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси представляет собой плоскость, направленную с юго-запада на северо-восток с градиентом увеличения запасов воды в пределах Беларуси около 30 мм в указанном направлении (рис. 4 а). Для оценки региональной состав-

ляющей требуется построение поверхности тренда с использованием полиномов различных степеней, например $n=2$ (рис. 4 б).

Как видно, наибольшие запасы воды в снеге приурочены к северо-западной и центральной частям территории Беларуси. Здесь существенен вклад в запасы воды в снеге высоты местности как регионального фактора (Минская, Новогрудская, Ошмянская возвышенности).

Более наглядно выявить региональную составляющую позволяет сравнительный анализ хода величин максимальных запасов воды в снеге (рис. 3) и линейной поверхности тренда (рис. 4 а). На рис. 5 картированы выявленные расхождения в исследуемых величинах.

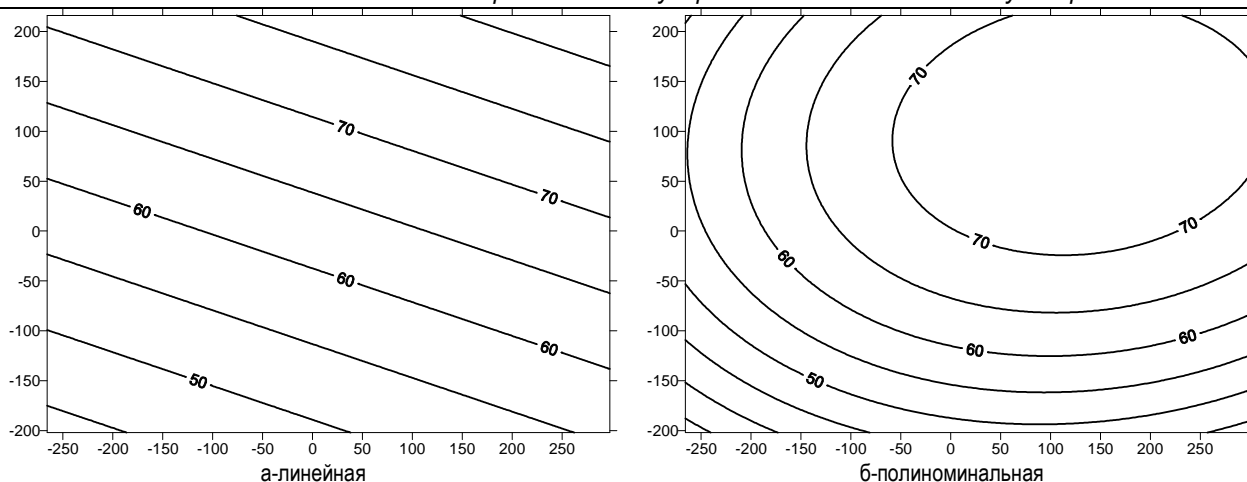


Рис. 7. Поверхности тренда средних максимальных запасов воды в снеге (мм) на территории Беларуси

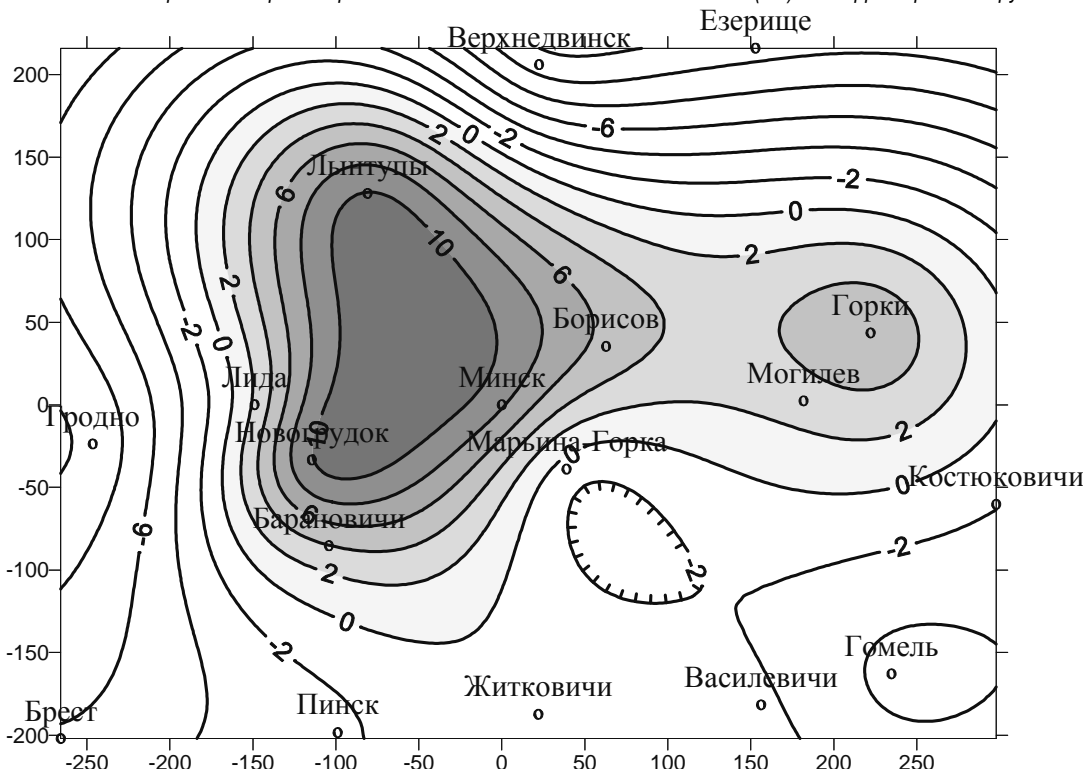


Рис. 8. Карта разностей величин средних максимальных запасов воды в снеге (рис. 6) и линейной поверхности тренда (рис. 7 а) - вклад региональных факторов

Согласно рис. 5, заштрихованные области представляют собой положительные разности, наглядно характеризующие региональный вклад в процессы формирования и распределения максимальных запасов воды в снеге по исследуемой территории (охваченной инструментальными наблюдениями). Например, ядра карты разностей отражают участие рельефных особенностей территории Беларуси в процессах снегонакопления. Четко позиционируется район орографической тени (Марьина Горка), где имеют место отрицательные разности, которые также присущи юго-западу и северо-востоку территории Беларуси. Районы с максимальными положительными разностями представляют наибольший интерес при нормировании снеговых нагрузок в смысле необходимости увеличения индексов надежности зданий и сооружений.

Представленные на рис. 3-5 карты характеризуют абсолютные максимумы в формировании запасов воды в снеге за многолетний период (1945–2006 гг.). Осредненные значения выделенных максимальных величин характеризуют наиболее типичную картину формирования запасов воды в снеге на исследуемой территории (рис. 6).

На рис. 3 и 6 обнаруживается схожее очертание изолиний и схожая приуроченность соответствующих максимумов значений запасов

воды в снеге (северо-западная часть Беларуси). На рис. 7 приведены тренд-поверхности средних максимальных запасов воды в снеге.

По аналогичной (рис. 5) технологии выполнено построение отклонений средних максимальных значений запасов воды в снеге (рис. 6) от линейной поверхности тренда (рис. 7 а). По результатам анализа выполнено картографирование разностей средних и линейной поверхности тренда (рис. 8).

На рис. 8 и 5 установлены общие зоны в части максимальных отклонений запасов воды в снеге от линейных трендов. При проектировании инженерно-технических мероприятий и сооружений, с целью предотвращения разрушительных воздействий на экономику, жизнь и здоровье людей, необходимо выделять районы, наиболее подверженные влиянию экстремальных снеговых нагрузок и предусматривать в них компенсационные инженерно-экологические меры. Наиболее благополучными, с точки зрения прогнозирования снеговых нагрузок, являются районы, имеющие наименьшую амплитуду в отклонениях максимальных снеговых нагрузок от средних многолетних величин. На рис. 9 приведена карта разностей соответствующих величин, которая отражает ранее отмеченную тенденцию снижения максимальных отклонений запасов воды в снеге и их тренд поверхностей на

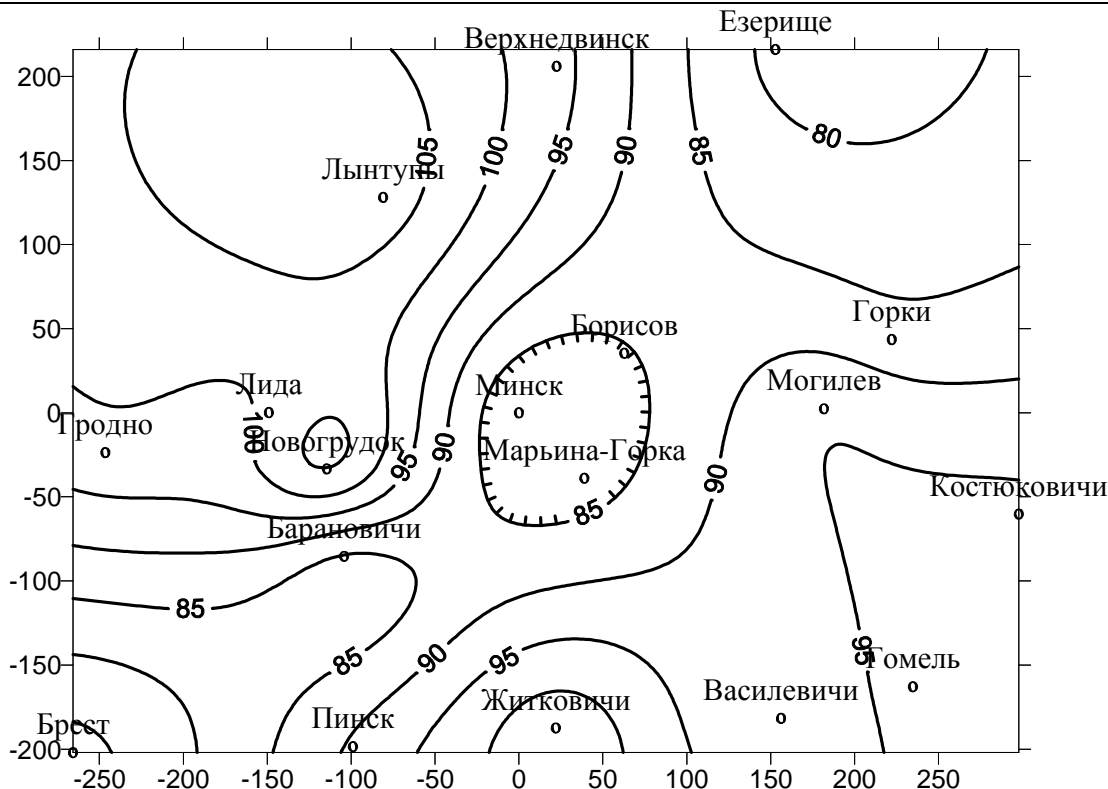


Рис. 9. Карта разностей величин максимальных и средних максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси

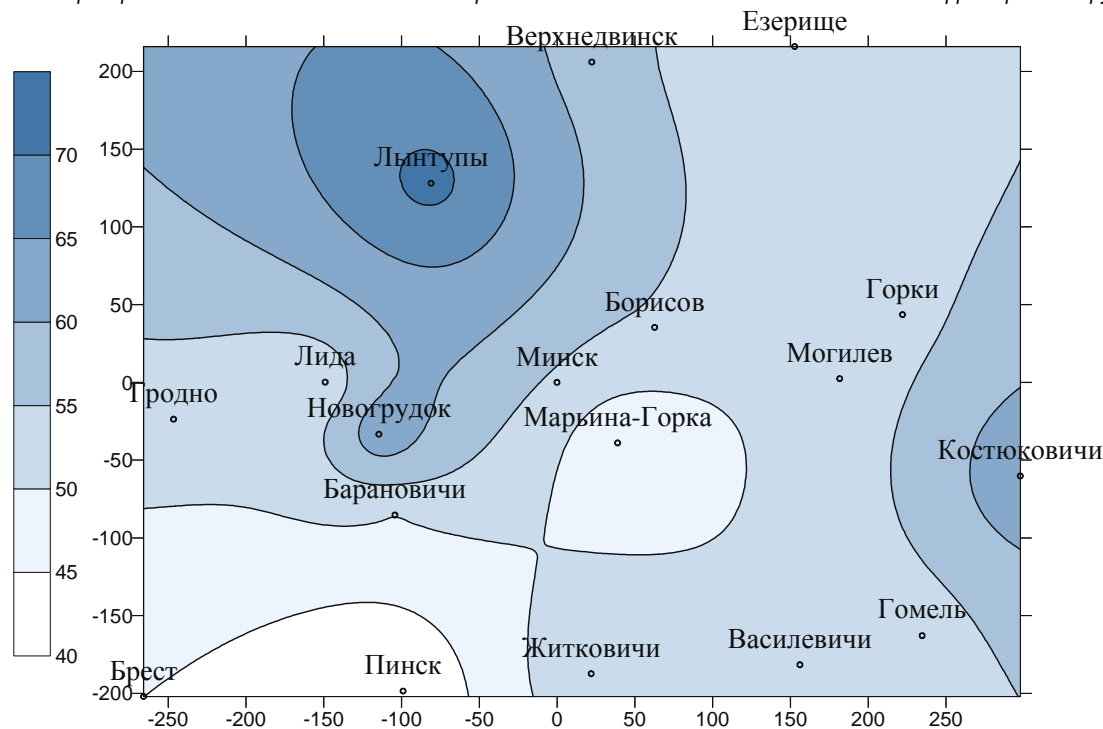


Рис. 10. Распределение максимальной высоты снежного покрова на территории Беларуси, см

юго-западе и северо-востоке Беларуси и в центральной ее части (район Марьиной-Горки). Эти районы, с определенной долей допущений, можно считать наиболее нейтральными в смысле процессов формирования стихийных экстремальных снеговых нагрузок, угрожающих серьезными ущербами хозяйству Беларуси.

Как известно, на запасы воды в снеге, определяющие снеговую нагрузку на здания и сооружения, влияют высота снежного покрова и его плотность. Причем, эти параметры используются во взаимосвязи. В природе наблюдаются различные соотношения плотности и высоты снега, чаще всего имеет место сдвигка пиков во времени на

1-2 декады. Период с максимальной высотой снежного покрова наступает раньше, а затем, при подтаивании снега (весной и во время оттепелей в холодный период), уменьшается его мощность и увеличивается плотность. Наибольшие запасы воды в снеге наблюдаются при максимальных значениях мощности снежного покрова и его плотности. В этой связи, необходим анализ максимальных высот снежного покрова и максимальных плотностей.

На рис. 10 приведена максимальная высота снежного покрова (см), полученная по данным снегосъемок в поле за период 1945–2006 гг. Рисунок 11 характеризует осредненную максимальную высоту снежного

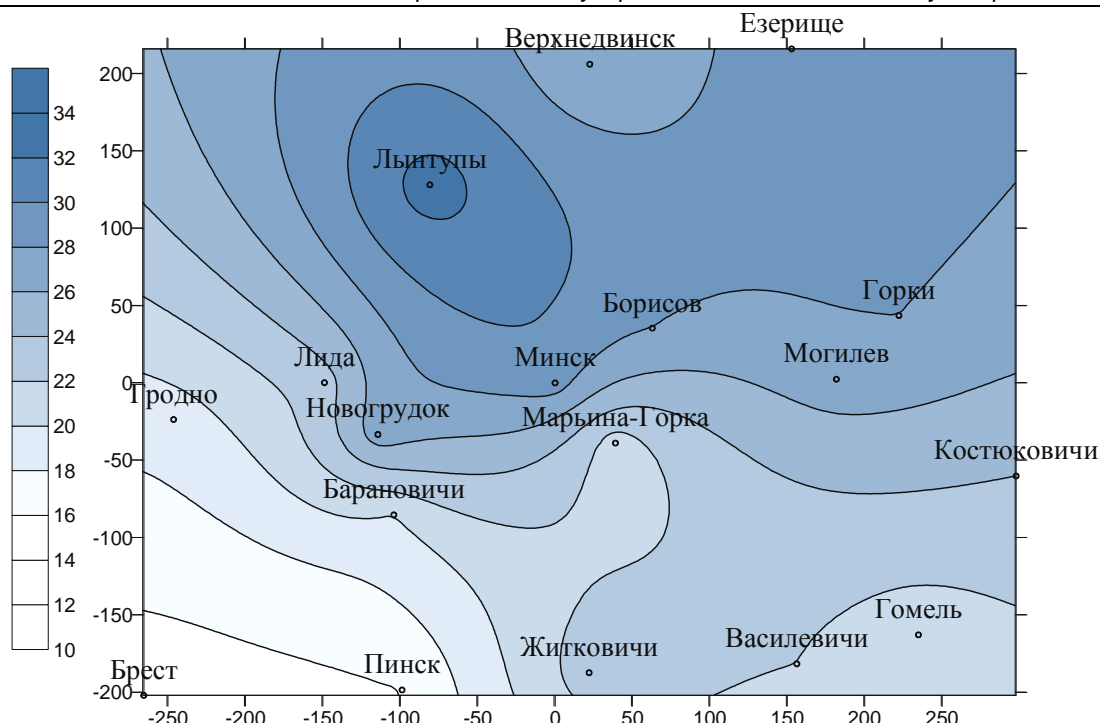


Рис. 11. Распределение средней максимальной высоты снежного покрова на территории Беларуси, см

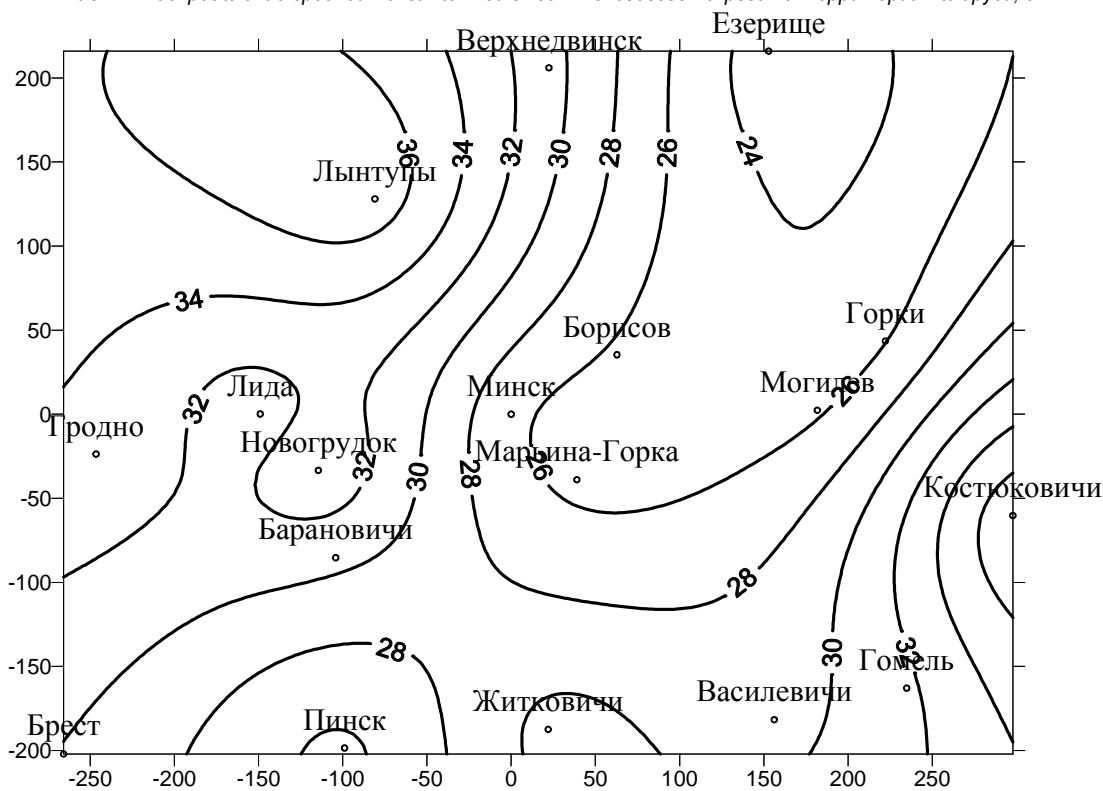


Рис. 12. Карта разностей величин максимальных и средних максимальных высот снежного покрова на территории Беларуси

покрова за тот же период. Информация, представленная на рис. 10, 11, коррелирует с ранее сделанными выводами о механизмах формирования максимальных запасов воды в снеге. Максимальные высоты снежного покрова приурочены к возвышенностям, их подветренным склонам, они определяются глобальным влагопереносом. Однако здесь имеет место случайная составляющая. В то же время, осредненные максимальные значения высот снежного покрова на территории Беларуси имеют четко выраженную широтную направленность, хорошо увязываются с термическим и ветровым режимом исследуемой территории, зависящим от радиационных характеристик климата Беларуси и турбулентного теплообмена приземной атмосферы, кото-

рые влияют на процессы таяния и испарения снега в южных районах Беларуси. В зимний период на территории Беларуси доминируют ветры южных направлений.

На рис. 12 приведена разность максимальных и средних максимальных высот снежного покрова на территории Беларуси, по которой видно, что наименьшие амплитуды колебания высот снежного покрова наблюдаются на северо-востоке территории Беларуси, где наименьшее количество оттепелей и наибольшая продолжительность периода с устойчивым снежным покровом. Максимальные отклонения присущи территориям, ранее причисленным к наиболее подверженным формированию экстремальных снеговых нагрузок.

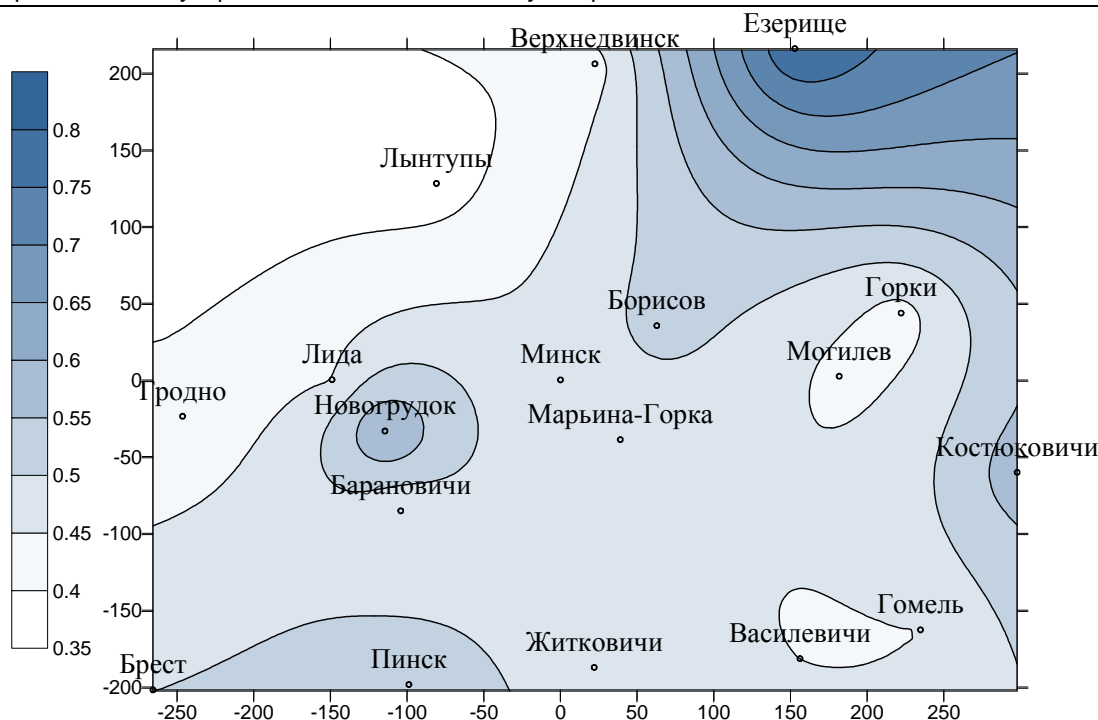


Рис. 13. Распределение максимальной плотности снегового покрова на территории Беларуси, г/см³

Максимальные значения плотности снега (г/см³), получены по тем же линиям, по которым проводилось измерение высоты снега (рис. 13). Максимальная плотность снега по территории Беларуси распределяется достаточно равномерно. Большая часть значений находится в пределах 0,4-0,5 г/см³. Исключение составляет район Езерище, где зафиксировано экстремальное значение плотности за рассматриваемый период (0,8 г/см³), что нашло отражение на приведенной карте (северо-восточная часть Беларуси).

ВЫВОДЫ

Разработанный и представленный выше комплекс карт территориального распределения базовых характеристик снегового покрова на территории Беларуси основан на использовании репрезентативных, соответствующим образом подготовленных, данных метеорологических наблюдений (проанализированных, исследованных в контексте выявленных независимых структур пространственно-

временных полей: мелкомасштабной и крупномасштабной составляющих и построенных поверхностей их трендов). Контрольная функция при этом отводилась фактору синхронности выпадения твердых атмосферных осадков в холодный период. Выявленные закономерности территориального распределения максимальной плотности снегового покрова, максимальной и средней максимальной высоты снегового покрова, очертание изолиний и особенности их территориальной приуроченности использованы при картировании максимальных и средних максимальных запасов воды в снеге и снеговых нагрузок на земную поверхность. Предложенный пакет взаимосвязанных карт изолиний должен служить ориентирующей основой районирования территории Беларуси по снеговому грузу и принятия окончательного решения при прогнозе величин снеговых нагрузок.

Материал поступил в редакцию 20.03.08

TOUR V.V., VALUYEV V.Ye., DERECHENNIK S.S., MESHK O.P. Cartography of the main characteristics of snow layers according to the results of complex statistic processing of the synoptical observation data

The results of cartography of the main characteristics of snow loads are presented. The method of making isoclines criging is grounded and recommened. Map making analysis is fulfilled. Interrelated map packet of is recommended as directing base of zoning the territory of Belarus on (the matter) of snow loads.

УДК 624.04.042.42:528.93(476)

Тур В.В., Валуев В.Е., Дереченник С.С., Мешик О.П.

ОПЫТ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ПО СНЕГОВЫМ НАГРУЗКАМ

ВВЕДЕНИЕ

Пространственное обобщение основных характеристик снегозапасов осуществляется картографическими способами, как правило: изолиний или качественного фона. Снегозапасы, формирующие снеговые нагрузки на поверхности земли представляют собой величины, осредненные в пространстве и во времени. Особенностью оценок снегозапасов ($X_{сн.}$) является тот факт, что их значения задаются не на множестве точек пространства, а во множестве характерных районов. Построение карты снегозапасов сопровождается эмпирическими оценками ($X_{сн.і}$) в центрах тяжести (t_i) соответствующих районов. Переход от множества точек пространства к множеству районов осуществляется путем построения интерполяционной карты и решения регрессионного уравнения функции $X_{сн.}(t_i)$ по

выборке $Z=(X_{сн. 1}, t_1, \dots, X_{сн. n}, t_n)$. Задача решается в последовательности:

- построение карты в изолиниях;
- предварительное установление границ районов на основе выбранного шага количественных различий снегозапасов в пределах характерных районов;
- уточнение границ районов с учетом физико-географических особенностей формирования снеговых нагрузок при объединении гидрометеорологических характеристик в пространственно-временные поля с учетом синхронности их колебания;
- аналитическая интерпретация границ районов с использованием типизированных аппроксимирующих функций в контексте прогнозирования снеговых нагрузок;