

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;

- проверка точности карты статистическими методами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Построение карты в изолиниях. Построение карты в изолиниях основано на интерполяции данных между эмпирическими точками и экстраполяции их на периферию. Допускается, что наблюдаемые значения снегозапасов в точке (m) и близлежащих точках тесно скоррелированы, так как картируемая переменная положительно автокоррелирована на малых расстояниях, между точками можно построить непрерывную поверхность. При картографировании снеговых нагрузок на территории Беларуси использована выборка экспериментальных метеоданных по 27 эмпирическим точкам с расстояниями между ними от 36 до 162 км. Степень пространственной непрерывности регионализованной переменной выражается вариограммой. При наличии данных в рассеянном множестве точек и известной форме вариограммы оценивается независимое значение поверхности в любой точке, не принадлежащей выборке (Z). Процедура оценки названа крайгингом в честь Д.Г. Криге [1].

Крайгинг нами обоснован для целей картирования снеговых нагрузок в изолиниях, его отличают оптимальные статистические свойства (измерение ошибки или неопределенности поверхности, изображаемой изолиниями, использование полувариограммы для нахождения оптимального множества весов, оценки поверхности в точках, отличных от эмпирических, в функции расстояния и веса, изменяющихся в соответствии с географическим положением точек наблюдений за снегозапасами).

Особенности крайгинга [1] при построении карты снеговых нагрузок в изолиниях следующие. Используется допущение, что картируемая переменная статистически стационарна и свободна от ярко выраженного тренда. Значение в точке (m), не принадлежащей эмпирической выборке, оценивается как взвешенное среднее из наблюдаемых, т. е. при ограниченном множестве близлежащих контрольных точек

$$\hat{X}_{сн.m} = \sum W_i X_{сн.i} \quad (1)$$

где W_i – весовой коэффициент для i-той точки, $X_{сн.i}$ – значение снеговой нагрузки в i-той точке.

Оценка ($\hat{X}_{сн.m}$) отличается от истинного (неизвестного) значения ($X_{сн.m}$) на величину ошибки оценки

$$\varepsilon_m = \hat{X}_{сн.m} - X_{сн.m} \quad (2)$$

При сумме весов, равной единице, полученная характеристика является несмещенной (при условии отсутствия тренда), т. е. для большого множества оценок средняя ошибка равна нулю, так как положительные и отрицательные отклонения взаимно компенсируются. Но и при нулевой средней ошибке оценки, сами оценки могут быть широко рассеянными относительно истинных значений. Рассеяние характеризуется дисперсией ошибки

$$S_\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum (\hat{X}_{сн.m} - X_{сн.m})^2 \quad (3)$$

Практическое определение значений, расположенных за пределами точек инструментальных наблюдений, осуществляется по крайгингу, обеспечивающему минимальную ошибку оценки.

Оптимальные значения весовых коэффициентов находятся решением системы совместных уравнений, которые включают значения из вариограммы оцениваемых снегозапасов при условии, что окончательные оценки являются несмещенными и имеют минимальную дисперсию. Другие возможные линейные комбинации наблюдений не дают оценки с меньшим рассеянием относительно их истинных значений.

Простой случай крайгинга – оценка снегозапасов ($X_{сн.}$) в точке (m) по трем ближайшим метеопунктам. Решается система трех уравнений

$$\begin{cases} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) = \gamma(h_{1m}) \\ W_1\gamma(h_{12}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) = \gamma(h_{2m}) \\ W_1\gamma(h_{13}) + W_2\gamma(h_{23}) + W_3\gamma(h_{33}) = \gamma(h_{3m}) \end{cases} \quad (4)$$

где $\gamma(h_{ij})$ – полувариограмма на расстоянии (h), соответствующем интервалу между контрольными точками i и j.

Например, $\gamma(h_{13})$ – полувариограмма для расстояния между

известными точками 1 и 3; $\gamma(h_{1m})$ – полувариограмма для расстояния между известной точкой 1 и точкой (m), в которой производится оценка. Матрица в левой части системы симметрична, так как $h_{ij}=h_{ji}$. Диагональные элементы матрицы равны нулю, так как (h_{ij}) представляет расстояние точки от себя самой, равно нулю. В предположении, что полувариограмма проходит через начало координат, для нулевого расстояния полувариограмма равна нулю. Значения полудисперсии берутся из полувариограммы, которая должна быть известна или оценена до крайгинга.

Однако, для обеспечения несмещенности решения, необходимо наложить ограничение на веса: их сумма должна быть равна единице

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1,0 \quad (5)$$

В итоге получается набор четырех уравнений для трех неизвестных. Так как уравнений больше, чем неизвестных, для обеспечения минимально возможной ошибки оценки необходимо использовать дополнительные степени свободы, путем включения в систему уравнений переменной (λ), называемой множителем Лагранжа и являющейся свободным членом. Полная система уравнений имеет следующий вид

$$\begin{cases} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda = \gamma(h_{1m}) \\ W_1\gamma(h_{12}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda = \gamma(h_{2m}) \\ W_1\gamma(h_{13}) + W_2\gamma(h_{23}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda = \gamma(h_{3m}) \\ W_1 + W_2 + W_3 + 0 = 1,0 \end{cases} \quad (6)$$

или в матричной форме

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{13}) & \gamma(h_{23}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1m}) \\ \gamma(h_{2m}) \\ \gamma(h_{3m}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

В общем виде необходимо решить матричное уравнение $[A] \cdot [W] = [B]$ для вектора неизвестных коэффициентов $[W]$. Члены матрицы $[A]$ и векторы $[B]$ берутся непосредственно из полувариограммы или из математических функций, описывающих ее вид.

При известных весах значение оцениваемой переменной в точке (m) устанавливается как

$$\hat{X}_{сн.m} = W_1 X_{сн.1} + W_2 X_{сн.2} + W_3 X_{сн.3} \quad (8)$$

Оценка дисперсии имеет вид

$$S_\varepsilon^2 = W_1\gamma(h_{1m}) + W_2\gamma(h_{2m}) + W_3\gamma(h_{3m}) + \lambda \quad (9)$$

Дисперсия оценки является взвешенной суммой полудисперсий для расстояний до точек, использованных в оценивании, и переменной (λ). Таким образом, крайгинг минимизирует ошибки в случае нерегулярной сети и дает количественное выражение ошибок.

Рассмотренная методика крайгинга реализуется для статистически стационарной переменной. В действительности, в природных процессах, принято выделять трендовую составляющую, при которой вычисленные значения будут систематически занижаться или завышаться, что зависит от фактического размещения точек наблюдений за снегозапасами и направления плоскости тренда. В этом случае, нестационарная регионализованная переменная рассматривается как состоящая из двух компонент. Тренд представляет собой среднее или ожидаемое значение регионализованной переменной в пределах района и медленно изменяется, представляя нестационарную часть поверхности. Остаток представляет собой разность между действительными изменениями и трендом. Если из регионализованной нестационарной переменной устранить тренд, то остатки станут стационарными и к ним можно применить крайгинг. В этом случае, крайгинг состоит из следующих процедур:

- выявление трендовой составляющей и ее удаление;
- проведение крайгинга для полученных остатков в точках вне пределов инструментальных наблюдений;

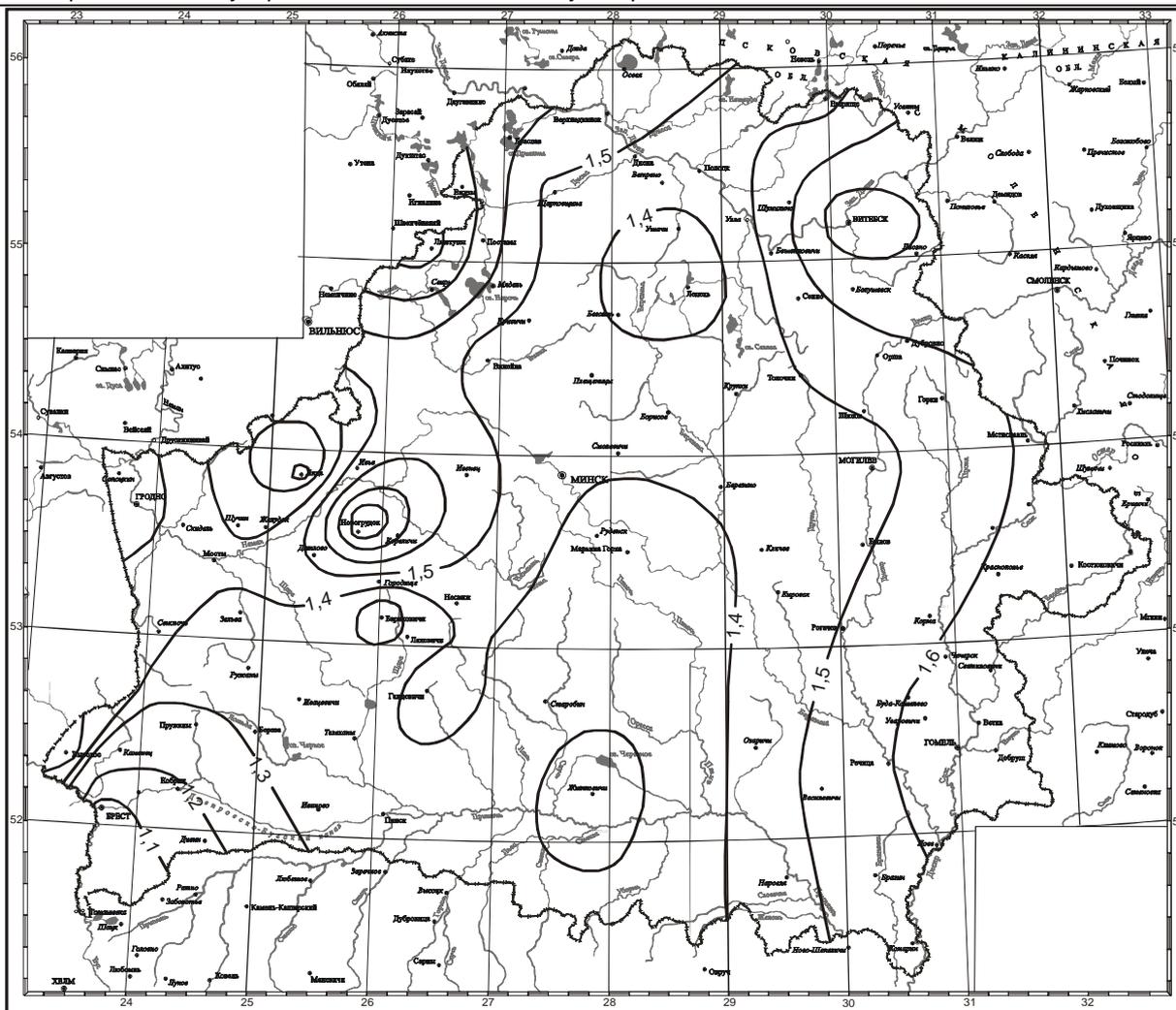


Рис. 1. Распределение нормативных значений снеговой нагрузки на территории Республики Беларусь, кПа

- группировка полученных остатков с трендовыми составляющими и получение истинной поверхности.

Примеры нашего анализа поверхностей тренда для характеристик снегового покрова приведены в [2] и публикуемой в настоящем «Вестнике» статье, там же получены остатки, представляющие собой стационарную переменную.

В систему уравнений (6) и (7) вводятся дополнительные переменные, учитывающие трендовую составляющую в пределах локальной поверхности. Выражения тренда связаны географическими координатами контрольных точек и точек, в которых проводится оценка. Оцениваемые точки расположены в узлах прямоугольной сетки, задаваемой по мере необходимости с определенным шагом. Скорректированные уравнения (6) и (7) позволяют одновременно оценивать как трендовую компоненту, так и регионализованную переменную. Однако в оценке значений в узловой точке необходимо использовать большее количество контрольных точек, чем в случае со стационарными переменными, для обеспечения дополнительных степеней свободы при оценке коэффициентов крайгинга. В противном случае, процесс крайгинга приведет к одинаковым оценкам, как для тренда, так и для самой стационарной поверхности.

Построение карты в изолиниях вручную методом крайгинга неподъемная задача, поэтому рекомендуется в современных условиях использовать средства вычислительной техники и пакет SURFER.

На рис. 1 приведена карта изолиний распределения нормативных значений выполненного нами прогноза снеговой нагрузки на территории Беларуси.

Предварительное установление границ районов снеговых нагрузок.

В обоснование границ районов нормативных значений снеговой нагрузки на территории Беларуси положена карта изолиний. Амплитуда колебаний нормативных значений снеговых нагрузок составляет 0,85 кПа, от 1,08 кПа в Бресте, до 1,93 кПа в Новоградке. Аналогичное районирование территорий сопредельных государств показывает, что выделение снеговых районов осуществлено преимущественно с шагом интерполяции 0,1; 0,2; 0,3 кПа. В условиях Беларуси использование при районировании аналогичной карты в изолиниях с указанными шагами приводит к множеству сгенерированных замкнутых контуров, сложному очертанию границ районов и, в итоге, к дроблению и неопределенности процесса систематизации районов. Предлагаемая карта районирования снеговых нагрузок разработана с учетом имеющегося опыта, когда в пределах выделяемых снеговых районов в каждом расчетном пункте значения нагрузки в наибольшей степени отвечают районному фоновому значению.

В практике использования результатов районирования могут иметь место следующие случаи: а) соответствие расчетного значения районному; б) превышение районного значения над расчетным; в) превышение расчетного значения над районным. Случай (б) наиболее вероятный, если в основе установления границ районов определяющей является граница верхнего поля. В то же время, вероятность события (б) в ходе районирования необходимо минимизировать по экономическим соображениям. Вероятность появления события (в) в принципе стремится к нулю, так как при выделении снеговых районов при наличии материалов метеонаблюдений учитываются и физико-географические особенности местности, и разрабатываются районные аналитические зависимости, корректирующие принимаемые проектировщиком нормативные значения снеговых нагрузок.

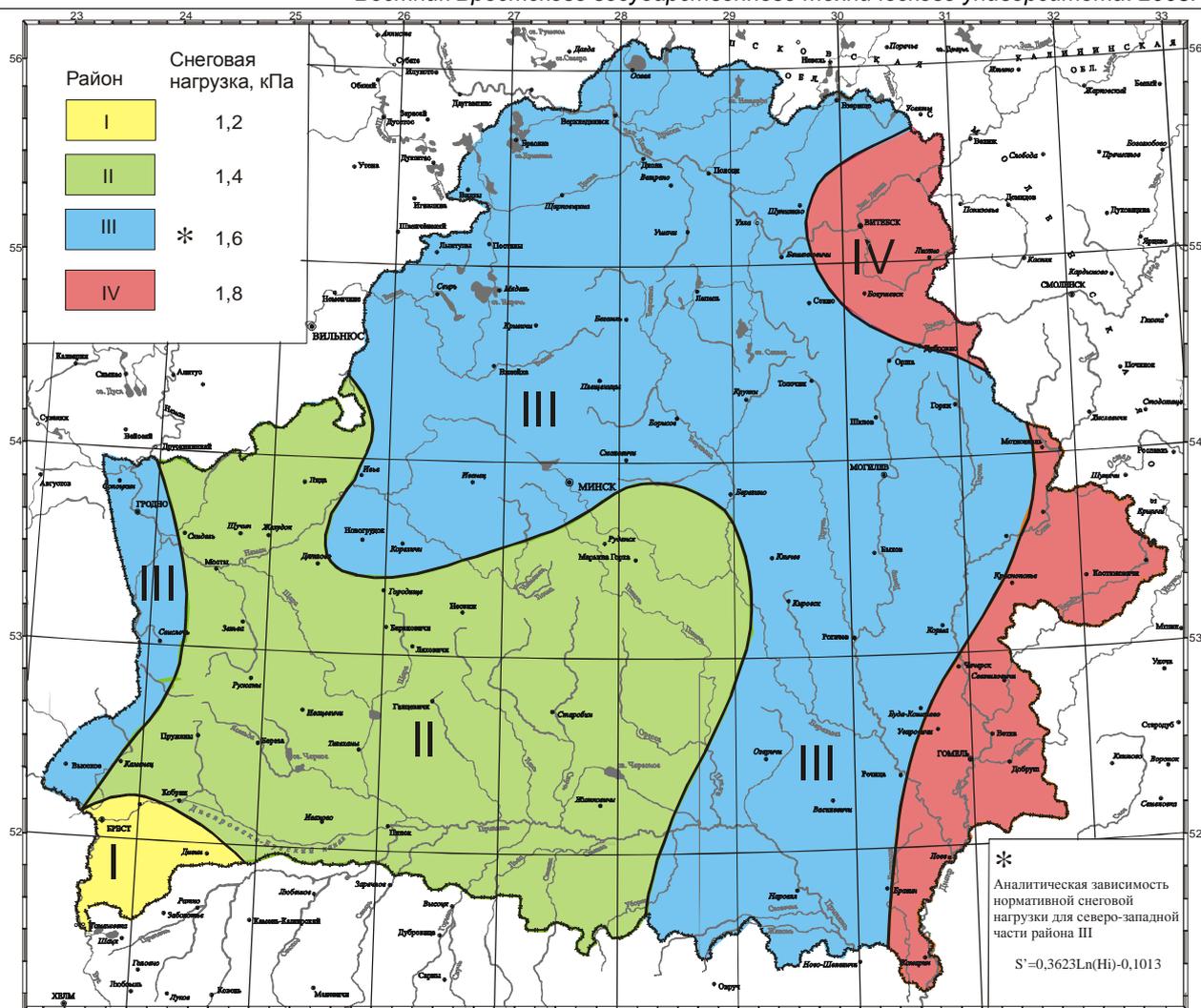


Рис. 2. Карта районирования нормативных значений годовых максимумов снеговой нагрузки в Республике Беларусь (0,98-квантиль распределения)

Уточнение границ районов с учетом физико-географических особенностей территории Беларуси. Переход от карты изолиний к фоновой карте районов с единым расчетным значением нормативной снеговой нагрузки предопределяет ведущую роль физико-географического анализа генетических составляющих процессов снегонакопления с целью уточнения количественных параметров и повышения устойчивости построения интерполяционной карты относительно исходных данных. Поэтому выделение заведомо однородных районов с учетом морфометрических, ландшафтных, климатических факторов в контексте комплексной оценки характеристик снегозапасов повышает точность проведения границ снеговых районов.

На рис. 2 приведена карта районирования территории Республики Беларусь по нормативным значениям снеговой нагрузки. В результате проведенных аналитических оценок, физико-географической интерпретации величин снегозапасов на исследуемой территории выделено 4 снеговых района со следующими максимальными годовыми нагрузками: I район – 1,2 кПа; II район – 1,4 кПа; III район – 1,6 кПа; IV район – 1,8 кПа.

Анализ карты, представленной на рис. 2, показывает, что очертание границ района I соотносится с юго-западной, наиболее теплой в зимний период, частью территории Беларуси. Из общего количества дней с осадками на долю твердых осадков в виде снега здесь приходится 9% дней. Снеговой покров на юго-западе Беларуси характеризуется значительной неустойчивостью. Средняя дата образования снегового покрова в Бресте – 29.III, разрушения – 5.III. При этом, продолжительность периода со снеговым покровом составляет

66 дней. Значительное количество оттепелей и жидких осадков в зимний период объясняет, в итоге, формирование минимальной снеговой нагрузки в этом районе.

Район II ограничен Брестским Полесьем на западе, Мозырским и Гомельским Полесьями – на востоке, Центрально-Березинской равниной – на северо-востоке исследуемой территории. Здесь наблюдается минимальная амплитуда колебаний отметок поверхности земли, и как следствие, – наименьшая амплитуда колебаний нормативных значений снеговых нагрузок среди четырех выделенных районов. Статистически значимая связь между снегонакоплением и высотой местности в этом районе отсутствует, так как он приурочен к орографической тени, вне пределов Новогрудской и Минской возвышенностей. Это способствует равномерному распределению снегового покрова по территории, где районы синхронного колебания твердых атмосферных осадков в феврале наибольшие по площади, и в них формируется максимальная февральская снеговая нагрузка.

Район III имеет наибольший размер площади, включающей различные типы географического ландшафта. В данном снеговом районе имеются метеопункты, в которых значения нормативных снеговых нагрузок меньше районного (Лепель). Учитывая преобладающую атмосферную циркуляцию в зимний период, направление движения снегоносных воздушных масс: запад – восток; северо-запад – юго-восток, следует отметить высокую степень защищенности метеостанций в расчетный период близлежащими возвышенностями, т.е. – зависимость снегозапасов и значений снеговых нагрузок от локальных особенностей ландшафта. В северо-западной части на

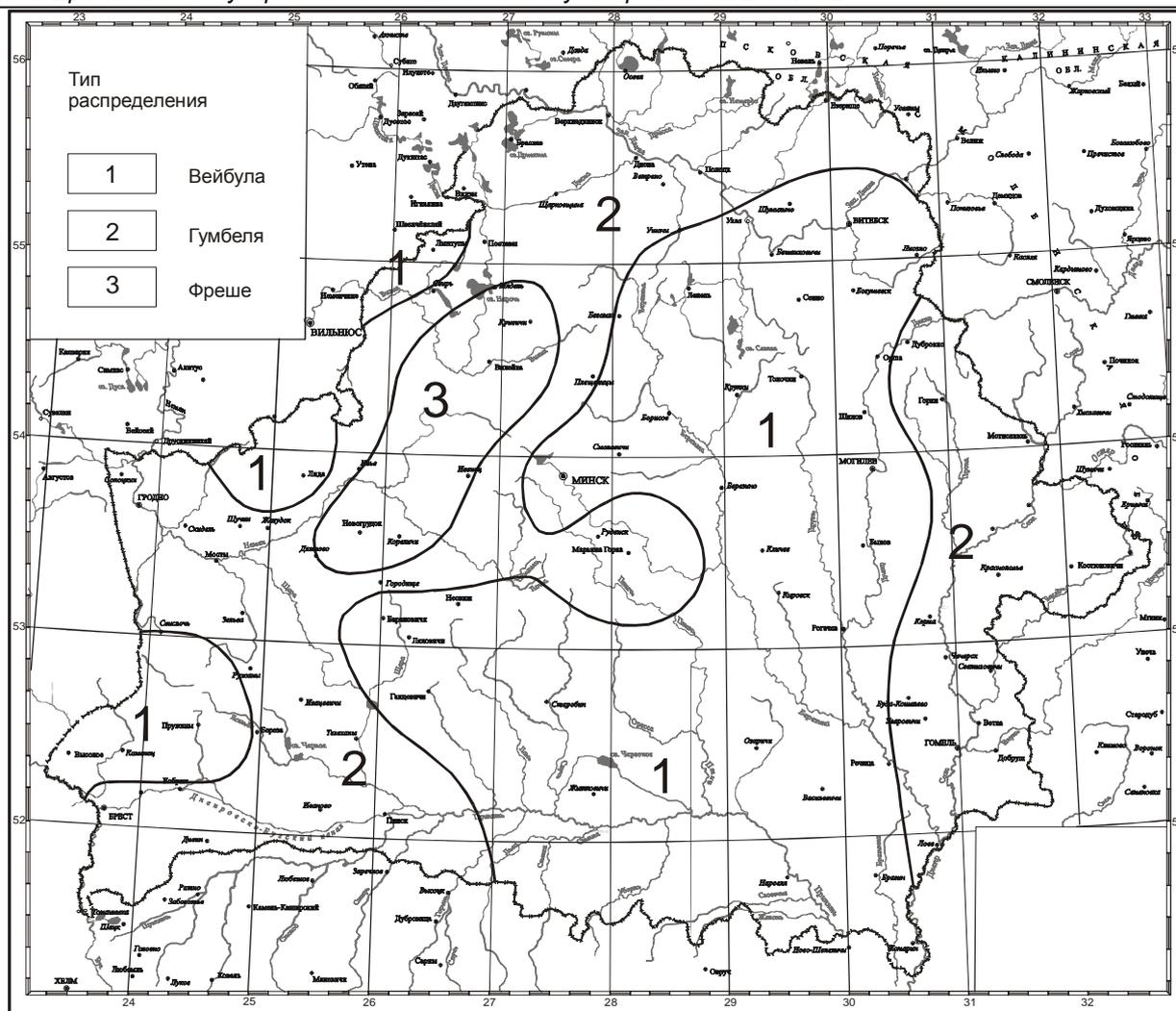


Рис. 3. Карта районирования территории Республики Беларусь по типам распределения снеговых нагрузок

снегонакопление влияют наличие Новогрудской и Ошмянской возвышенностей, Свенцянской гряды, их ориентация в пространстве и абсолютные отметки рельефа. Возвышенности и гряды являются барьерами, препятствующими проникновению снегоносных воздушных масс вглубь территории Беларуси. Здесь выпадает наибольшее количество снега и, соответственно, формируются наибольшие снеговые нагрузки. В пунктах Новогрудок и Лынтупы нормативные значения снеговых нагрузок значительно превышают районные на 0,33 и 0,27 кПа, соответственно. В этой связи, в расчетных пунктах северо-западной части района III, где имеет место превышение нормативной расчетной нагрузки над районной (1,6 кПа), предлагается определять снеговые нагрузки по промежуточной аналитической зависимости

$$S' = 0,3623 \ln(H_i) - 0,1013, \quad (10)$$

где S' – значение нормативной снеговой нагрузки, полученное аналитическим путем, кПа; H_i – отметка поверхности земли в расчетном пункте, м.

Использование зависимости (10) обязательно на начальном этапе установления нормативной снеговой нагрузки (S) в конкретном расчетном пункте северо-западной части III района на основе карты районирования (рис. 2). Если $S' \leq S$, то принимается нормативное для III района значение расчетной снеговой нагрузки (S); при соотношении $S' > S$ – принимается полученное по зависимости (10) значение нормативной снеговой нагрузки (S' , кПа), а величина (S) служит ориентирующей основой.

На данной территории выделено наибольшее количество районов синхронного колебания твердых атмосферных осадков, чему способствует также неоднородность свойств подстилающей земной поверхности.

Район IV – наибольших снеговых нагрузок, занимает восточную окраину Беларуси. Восточная часть территории района IV хорошо согласуется с границами синхронного выпадения твердых атмосферных осадков [2], где не выявлены превышения нормативных значений снеговых нагрузок над районными.

Следует отметить, что выполненное районирование хорошо согласуется с границами построенных ранее подобных карт смежных территорий Польши, Украины и Литвы.

Аналитическая интерпретация границ районов на основе используемых типов аппроксимирующих функций при прогнозировании снеговых нагрузок. Случайные величины, представленные основными характеристиками снегозапасов по 27 метеопунктам Беларуси, образуют статистические (выборочные) совокупности, каждый член которой – варианта, в составе вариационных рядов подвергнута обработке, включая описание вариационных кривых с помощью математических моделей функции распределения. Из-за недостаточности экспериментальных данных по снегозапасам, их неравномерности формирования по территории Беларуси, разработчики не полагались только на традиционные критерии нормального распределения. В качестве альтернативных методик, в процессе сравнительного анализа, исследовались и рекомендованы к практическому использованию известные типы аппроксимации эмпирических данных: Вейбула, Гумбеля, Фреше.

Результаты определения, анализа и практического использования полученных прогнозных нормативных значений снеговых нагрузок подробно изложены в работе [2].

На рис. 3 приведена карта районирования территории Беларуси по типам распределения используемых функций в процессе нормирования снеговых нагрузок.

ВЫВОДЫ

Оценка точности районирования осуществлена статистическими методами. При выделении однородных районов, близких по физико-географической природе и статистической изменчивости снегозапасов, выполнен анализ меры расхождения исходных данных в опорных пунктах (i) и (j) районов. В качестве критерия при многомерном статистическом анализе использовано расстояние Махаланобиса [3]

$$d_{ij} = \frac{(X_{сн.i} - X_{сн.j})}{\sqrt{D_i + D_j - 2\rho_{ij}\sqrt{D_i D_j}}}, \quad (11)$$

где $X_{сн.i}$, $X_{сн.j}$ – значения снеговых нагрузок в пунктах (i) и (j); D_i , D_j – дисперсии ошибок исходных данных в соответствующих пунктах; ρ_{ij} – коэффициент пространственной корреляции ошибок между соответствующими пунктами.

В случае равенства значений ($X_{сн.i}$) и ($X_{сн.j}$), статистика (d_{ij}) укладывается в нормальный закон распределения вероятностей с нулевым средним и единичной дисперсией. Показатель (d_{ij}) выяв-

ляет опорные пункты, в которых различия находятся в пределах точности определения снеговой нагрузки. Анализ всевозможных значений (d_{ij}), при $i, j=1, \dots, N$, для заданного уровня значимости, позволяет выделить территории, в границах которых различия между исходными данными пунктов наблюдений за снегозапасами можно считать несущественными.

Проверка результатов районирования снеговых нагрузок на территории Беларуси подтвердила обоснованность объединения пунктов в каждом снеговом районе, о чем свидетельствуют наилучшие значения статистики (d_{ij}), а также высокую сходимость нормативных значений снеговой нагрузки, устанавливаемых картой, с исходными данными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии / под ред. Д.А. Родионова. – М.: Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.
2. Научно-технический отчет «Провести исследования и разработать методы определения снеговых нагрузок, определить нормативные снеговые нагрузки на конструкции зданий и сооружений, разработать рекомендации по назначению нагрузок от снегового покрова» / Тур В.В. и др., № ГР 2007689. – Брест, БрГТУ. – 310 с.
3. Христофоров, А.В. Вопросы точности построения карт гидрологических характеристик / А.В. Христофоров // Вестник Московского университета. – 1983. – Сер. 5. – С. 54–60.

Материал поступил в редакцию 20.03.08

TOUR V.V., VALUYEV V.E., DERECHENNIK S.S., MESHIK O.P. The experience of zoning of Belarus on the matter of snow loads

The research methods and the maps are presented in the paper: distribution of normal snow loads (in isolines); zoning of normal annual maxima of snow loads (0,98 quantil of distribution); zoning of Belarus on the types of snow loads distribution. The accuracy of zoning has been evaluated by statistics methods.

УДК 631.616:621.72.00157

Якубов А.С., Кащенко Н. М., Ковалев В.П., Викснэ А.А.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ

ВВЕДЕНИЕ

Польдерные системы нашли применение при освоении безуклонных и малоуклонных территорий, длительное время находящаяся в затопленном или подтопленном состоянии. Неравномерность осушения массива, характерная для действующих польдерных систем, связана с образованием в каналах проводящей сети, под воздействием отдачи, кривых спада, формирующих уровенный режим грунтовых вод. Интенсивность снижения уровней грунтовых вод на осушаемом массиве уменьшается по экспоненциальной зависимости с удалением от насосной станции ($i = 6,2e^{-0,00458L}$, при $h_{ос} - h_{от} = -0,01$ м). Это показывает, что фактические характеристики дренажа, приближаясь по своим значениям к расчетным непосредственно у насосной станции, существенно ниже их на осушаемом массиве. Средние их значения для всей площади осушаемого массива ниже расчетных на 25 - 30 %. Это означает, что использование вложенных в строительство средств на 25 - 30 % ниже ожидаемых. Опыт эксплуатации и проведенные исследования работы польдерных систем показывают, что неравномерность осушения является проявлением несогласованной работы дренажа, каналов проводящей сети и насосной станции, которые в своих параметрах не учитывают характеристики формирования стока на осушаемом массиве [4,9]. Неравномерность осушения массива характеризует польдерные системы как системы с распределенными параметрами. Практика эксплуатации польдерных систем и проведенные эксперимен-

тальные исследования определили подходы к расчету и проектированию польдерных систем как линейных гидрологических объектов. Однако теория расчета и проектирования польдерных систем как линейных гидрологических объектов отсутствует.

Очевидно, что использование применяемых в настоящее время способов расчета элементов польдерных систем, как линейных гидрологических объектов, не даст положительных результатов. Это связано с тем, что процессы формирования стока на осушаемом массиве польдерной системы являются нестационарными, и описание их возможно только с использованием нестационарной математической модели с применением численных методов решения уравнений. Такой подход, существенно расширяя возможности исследования работы дренажа в нестационарных режимах, является единственно возможным способом расчета управляемого взаимодействия уровней грунтовых вод и уровенного режима каналов проводящей сети.

Математическое моделирование, совместно с предложенным методом приведения польдерных систем к линейному виду, позволяет существенно уменьшить затраты на проектирование польдерных систем. Применением метода приведения систем к линейному виду и математического моделирования позволит привести в соответствие функций польдерных систем с требованиями сельскохозяйственного производства.

УРАВНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Основными элементами польдерной системы являются про-

Якубов Александр Степанович, директор СП МАМТ ООО.

ул. Олешева, 14, 220090, г. Минск, Беларусь, e-mail: ja48@mail.ru.

Кащенко Николай Михайлович, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ООО «Бюро мелиоративных технологий».

Ковалев Виктор Петрович, директор по научной работе ООО «Бюро мелиоративных технологий».

ул. Сибирякова, 60 – 23, 236040, г. Калининград, Россия, e-mail: kaschtschenko@mail.ru, bmt.polder@mail.ru.