

## Физико-географические исследования

УДК 528.942

*Р.К. Абдуллин, А.Н. Шихов*

### КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПЕРМСКОМ КРАЕ\*

Опасные метеорологические явления являются одним из источников возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера. Целью настоящей работы является разработка подходов к картографированию пространственно-временного распределения опасных метеорологических явлений на региональном уровне на примере Пермского края. На основе актуальных исходных данных впервые построены карты их повторяемости и интенсивности. Показано, что в условиях сложного рельефа и редкой наблюдательной сети это позволяет получить более реалистичные оценки пространственного распределения опасных явлений погоды. Для локальных конвективных явлений (шквалы, крупный град, смерчи) рассмотрен подход к картографированию на основе расчета плотности пространственного распределения зафиксированных случаев. В качестве исходной информации используются не только данные сети метеостанций, но и результаты обследований по факту нанесенного ущерба от опасных явлений. Установлено, что число зафиксированных случаев локальных конвективных опасных метеорологических явлений определяется не только фактической повторяемостью явлений, но и плотностью наблюдательной сети на исследуемой территории.

*Ключевые слова:* опасные метеорологические явления, пространственное распределение, картографирование, интерполяция, плотность.

Опасные метеорологические явления являются одним из источников возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера. Данная проблема актуальна для многих регионов России, в том числе и для Пермского края. На территории края наблюдаются 15 видов опасных явлений погоды, способных нанести значительный ущерб для природно-ресурсного потенциала и экономики региона [1-4].

В последние годы, по данным ряда авторов, наблюдается рост повторяемости опасных явлений погоды на территории России и увеличение ущерба от них [5-7]. Для разработки мероприятий нейтрализующих и смягчающих действие опасных явлений погоды необходимо предварительно изучить их пространственно-временное распределение, количественно оценить возможность их возникновения, выделить территории, где их возникновение наиболее вероятно. Таким образом, определение и картографирование климатических характеристик опасных явлений погоды в условиях меняющегося климата является актуальной и современной задачей [7].

Традиционно при изучении климатических характеристик опасных явлений погоды на региональном уровне основное внимание уделяется временному аспекту (анализ динамики повторяемости, интенсивности явлений) [7-8]. Пространственный анализ климатических характеристик опасных явлений погоды представляет определенные сложности по двум причинам. Во-первых, они сами по себе являются событиями редкой повторяемости и часто массив данных о зафиксированных случаях недостаточен для обнаружения каких-либо закономерностей их пространственного распределения. И во-вторых, многие их случаи пропускаются существующей редкой сетью метеостанций.

В связи с этим карты пространственно-временного распространения опасных метеорологических явлений строятся чаще в обзорном масштабе (на всю территорию России). Такие карты представлены в Национальном атласе России, а также Атласе природных и техногенных чрезвычайных ситуаций [9; 10]. На региональном уровне подобных исследований крайне мало. Ряд карт климатических характеристик опасных явлений погоды для территории Иркутской области представлен в атласе «Иркутская область: экологические условия развития» [11]. В целом, несмотря на богатые картографические традиции, в России не существует единых правил и рекомендаций по картографическому отображению опасных природных явлений, в том числе и метеорологических, на любых территориальных уровнях [12]. Для территории Пермского края особенности пространственно-временного распределения опасных явлений погоды изучались многими авторами [1; 13-18]. Однако картографических материалов по данной тематике недостаточно и многие из имеющихся материалов устарели.

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 14-05-96000 р-Урал-а, 14-05-31220-мол-а).

Целью настоящей работы является разработка подходов к картографированию пространственно-временного распределения опасных метеорологических явлений на региональном уровне на примере Пермского края.

### Материалы и методы исследований

В настоящее время имеется несколько массивов данных об опасных явлениях погоды и их последствиях, сформированных на основе разных критериев и подходов:

- данные сети метеостанций и постов, обобщенные в «Метеорологических ежемесячниках» [19];
- данные об опасных явлениях, не зафиксированных наблюдательной сетью, но нанесших материальный ущерб;
- данные очевидцев и СМИ, обобщенные в информационной системе ESWD (European Severe Weather Database) [20];
- данные метеорологических радаров (МРЛ);
- данные космического мониторинга (данные ДЗЗ).

Они характеризуются различной продолжительностью наблюдения, пространственным и временным разрешением, поэтому часто несопоставимы между собой. В качестве основы для составления карт повторяемости опасных метеорологических явлений в Пермском крае использованы данные наблюдательной сети, поскольку только сеть метеостанций обеспечивает получение режимной информации об них.

В качестве базового исследуемого периода были выбраны 1981–2010 гг. (что соответствует рекомендациям Всемирной метеорологической организации об использовании 30-летних рядов наблюдений для климатических исследований). За этот период число действующих метеостанций в Пермском крае уменьшилось с 36 до 25. Для сохранения однородности ряда наблюдений использовались данные только тех 25 станций, которые действовали в течение всего 30-летнего периода.

Для анализа пространственного распределения некоторых видов опасных метеорологических явлений (например, шквалов, крупного града и смерчей) данных сети метеостанций недостаточно. Многие случаи локальных конвективных опасных метеорологических явлений пропускаются наблюдательной сетью, но часто фиксируются по факту нанесенного ущерба. Интенсивность явления в таких случаях оценивается по косвенным признакам. В связи с этим для картографирования пространственного распределения конвективных явлений использовались также данные о нанесенном ими ущербе. Данные о случаях опасных метеорологических явлений, зафиксированных по результатам обследований и оценки ущерба, были предоставлены Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Пермским ЦГМС) только за период с 2001 г. Таким образом, продолжительность ряда наблюдений, использованного для построения карты пространственного распределения конвективных опасных метеорологических явлений, составила 14 лет (с 2001 по 2014 гг.).

Карты их климатических характеристик создавались в масштабе 1:3 500 000, что обусловлено размерами и конфигурацией Пермского края, а также редкостью существующей наблюдательной сети, которая не позволяет проводить оценки повторяемости опасных метеорологических явлений на более детальном уровне.

### Результаты и их обсуждение

Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений можно рассматривать с разных позиций: через повторяемость (число случаев за единицу времени), а также как плотность (число случаев на единицу площади за период времени). Для явлений, которые характеризуются значительным охватом территории (экстремальная температура воздуха, сильные осадки, сильные ветры, метели и др.), предпочтительно оценивать повторяемость (по данным сети метеостанций). Для картографирования явлений локального характера (смерчей, шквалов, крупного града), которые на мелких масштабах могут рассматриваться как точечные объекты, может оцениваться плотность пространственного распределения. Далее описана реализация этих подходов к картографированию опасных метеорологических явлений на примере сильных дождей и опасных конвективных явлений.

**Методика построения карт повторяемости опасных метеорологических явлений.** Как известно, основой климатического картографирования являются различные методы интерполяции данных, полученных на сети метеостанций. Однако прямое их использование без учета влияния орогра-

фии, крупных водоемов и др. ландшафтных особенностей нередко приводит к значительным ошибкам и искажению сути картографируемого явления [21]. При построении климатических карт (в том числе и карт повторяемости опасных явлений погоды) на территориях со сложным рельефом и редкой сетью наблюдений необходим учет высотных зависимостей.

Построение карт повторяемости опасных явлений было выполнено по адаптированному методу В.А. Шутова (методу приведенных величин) [22]. Данный метод был первоначально разработан для картографирования снегозапасов, однако может эффективно применяться при построении любых климатических карт на территории со сложным рельефом. Последовательность реализации данного метода средствами ГИС-технологий выглядит следующим образом:

- определяется повторяемость опасного явления в пунктах наблюдательной сети;
- выявляются наличие или отсутствие зависимости повторяемости опасных явлений погоды от высоты, на которой расположена метеостанция (или от средней высоты местности в определенном радиусе от метеостанции), и высотный градиент повторяемости явления;
- рассчитывается повторяемость опасных явлений на метеостанциях, «приведенная» в базовой высоте (для территории Пермского края она принята равной 200 м) по формуле:

$$H = H_0 + \Delta H / \Delta z (z - 200), \quad (1)$$

где  $H$  – число случаев опасных явлений погоды, приведенное к базовой высоте;  $H_0$  – исходное число случаев опасных явлений погоды, зафиксированное на метеостанции;  $z$  – высота, на которой расположена метеостанция;  $\Delta H / \Delta z$  – вычисленный высотный градиент повторяемости опасных явлений погоды;

- производится интерполяция приведенной величины методом натяжного сплайна; его преимуществом перед другими методами интерполяции является отсутствие сильных краевых искажений;
- в результат интерполяции вводится высотная зависимость;
- выполняется сглаживание полученного результата (методом расчета среднего значения в скользящем окне заданного размера) и построение изолиний повторяемости.

В результате получается значительно более детальная и реалистичная картина пространственного распределения повторяемости явления, чем та, которая может быть получена путем простой интерполяции данных сети метеостанций.

Результаты применения метода В.А. Шутова ниже проиллюстрированы на примере построения карты повторяемости очень сильных дождей (рис. 1, а). Для данного явления характерна статистически значимая зависимость повторяемости от высоты местности (коэффициент корреляции между высотой, на которой расположена метеостанция, и числом зафиксированных им случаев опасных метеорологических явлений, составляет 0,83). Для определения высотной зависимости, представленной на рис. 1, использовались данные с 33 метеостанций, гидропостов и метеопостов за период с 1981 г.

Аналогичным способом, с использованием высотной зависимости, могут быть построены также карты характеристик интенсивности опасных и неблагоприятных явлений погоды. Пример такой карты для сильных дождей приведен на рис. 1, б. В этом случае также существует однозначная зависимость интенсивности явлений от высоты местности: среднегодовой суточный максимум количества осадков в горной части Пермского края на 6–8 мм больше, чем на равнинной территории.

**Методика построения карт плотности пространственного распределения опасных явлений погоды.** Плотность пространственного распределения (число случаев на единицу площади) оценивалась для конвективных опасных явлений (шквалы  $\geq 25$  м/с, крупный град и смерчи) за период 2001–2014 гг. Как известно, большинство случаев крупного града, шквалов и смерчей пропускается наблюдательной сетью. Поэтому в качестве исходной информации для создания карты использовались не только данные метеостанций и постов, но и результаты обследований, проводимых Пермским ЦГМС и органами МЧС по факту нанесенного опасными явлениями ущерба. Для выявления мест прохождения сильных шквалов и смерчей дополнительно был проведен анализ материалов космической съемки территории Пермского края со спутников серии LANDSAT за период 2001–2014 гг., в результате которого было выявлено 17 участков с массовыми ветровалами. Более подробно результаты этой работы описаны в [23].

Места наблюдения конвективных опасных явлений были нанесены в виде точечных объектов с указанием числа зафиксированных случаев в данном пункте за рассматриваемый период 2001–2014 гг.

(рис. 3). Для расчета плотности полученных точечных объектов использовался модуль Spatial Analyst программного пакета ArcGIS.

Корректная оценка плотности точечных объектов возможна при правильном определении радиуса поиска. Радиус поиска рассчитывался с использованием пространственного варианта «Правила большого пальца Сильвермана» (Silverman's Rule of Thumb), который устойчив к пространственным выбросам (то есть точкам, которые находятся далеко от остальных точек) и обходит явление «колец вокруг точек», часто возникающее в разреженных наборах данных [24].

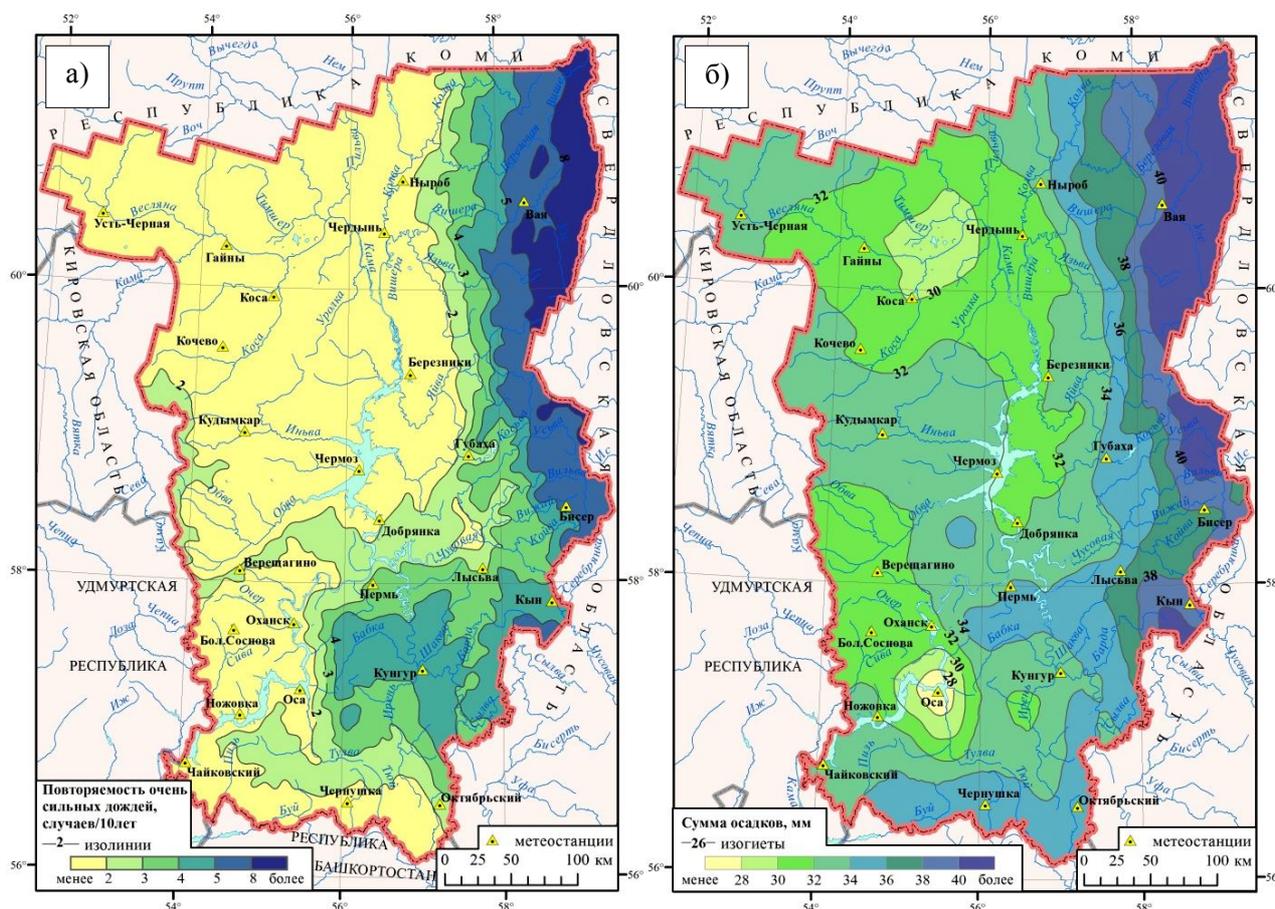


Рис. 1. а) карта повторяемости очень сильных дождей; б) карта среднегодового суточного максимума количества осадков в Пермском крае

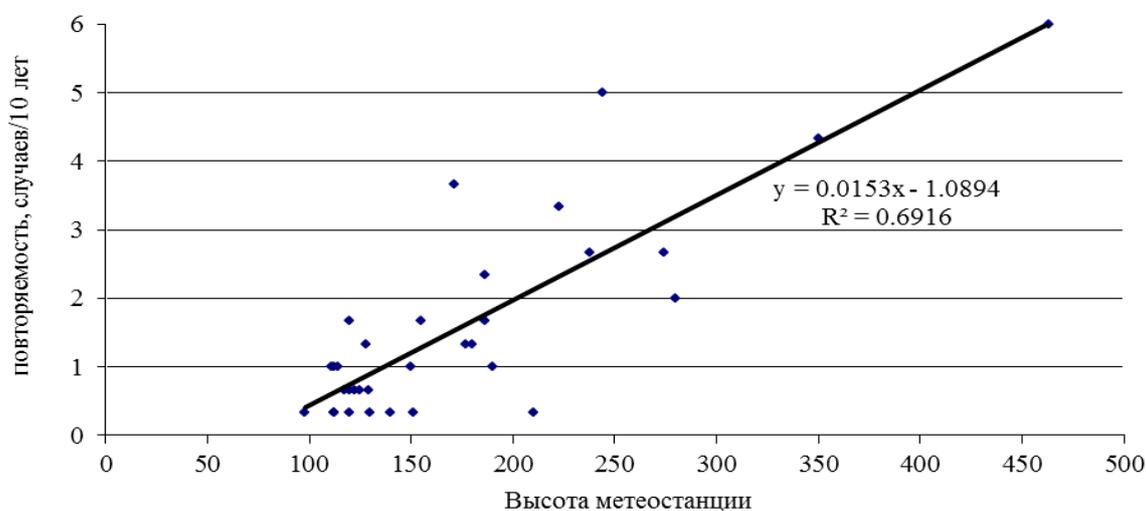


Рис. 2. Зависимость повторяемости очень сильных дождей от высоты местности



между растрами плотности наблюдательной сети, плотности населения и плотности пространственного распределения зафиксированных конвективных опасных метеорологических явлений (таблица). И подтверждено наличие зависимости числа случаев зафиксированных конвективных явлений от плотности наблюдательной сети (коэффициент линейной корреляции Пирсона равен 0,63).

Поскольку распределение рассматриваемых переменных не является нормальным (оно близко к логнормальному), кроме линейной корреляции был использован другой метод для оценки зависимости между ними – построение таблицы сопряженности. Для этого были выделены по 5 градаций (для каждой переменной), проведено их пространственное сопоставление и вычислены коэффициенты сопряженности. Коэффициент сопряженности между плотностью наблюдательной сети и плотностью зафиксированных конвективных явлений составляет 0,51 (что указывает на наличие взаимосвязи средней степени тесноты).

### Матрица парной корреляции между рассматриваемыми переменными

Название переменной	Плотность наблюдательной сети	Плотность населения	Число зафиксированных конвективных опасных явлений погоды на единицу площади
Плотность наблюдательной сети	1,00	0,38	0,63
Плотность населения	0,38	1,00	0,43
Число зафиксированных конвективных опасных явлений погоды на единицу площади	0,63	0,43	1,00

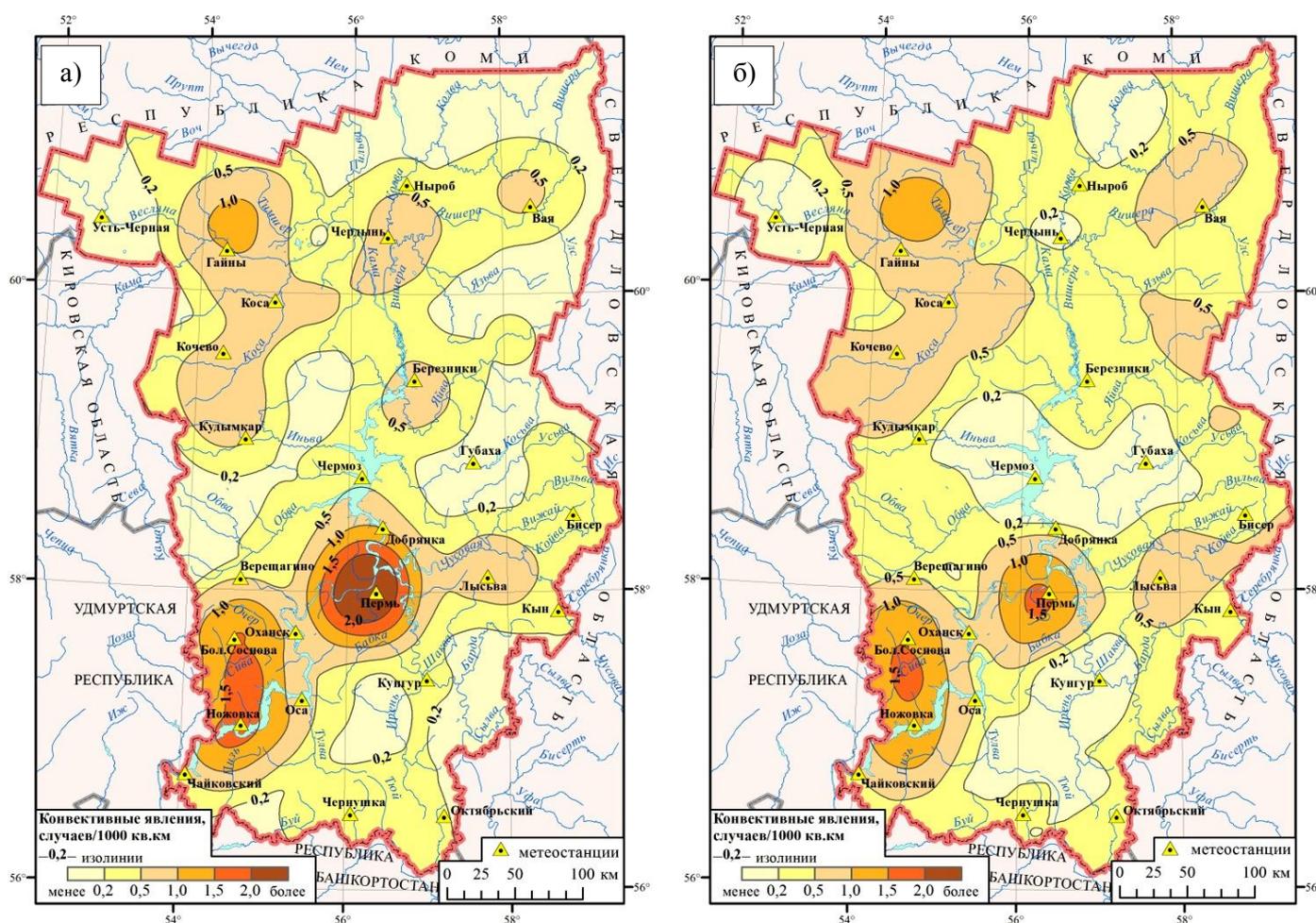


Рис. 4. Плотность пространственного распределения опасных конвективных явлений в Пермском крае в 2001–2014 гг.: а) исходная, б) нормированная по плотности наблюдательной сети

Таким образом, наличие зависимости между плотностью зафиксированных конвективных опасных метеорологических явлений и плотностью наблюдательной сети было подтверждено двумя различными методами. С учетом выявленной зависимости была проведена операция нормирования. Плотность пространственного распределения конвективных опасных метеорологических явлений приведена к средней по территории Пермского края плотности наблюдательной сети (равной 0,55 пунктов/1000 км<sup>2</sup>).

Полученная исходная карта плотности пространственного распределения конвективных опасных метеорологических явлений приведена на рис. 4, *а*, а нормированная по плотности наблюдательной сети – на рис. 4, *б*. Распределение, представленное на рис. 4, *б*, является более правдоподобным.

На исходной карте выделяется один основной максимум плотности пространственного распределения конвективных опасных явлений (в районе г. Перми). Его появление обусловлено высокой плотностью сети наблюдений в данном районе. После проведения операции нормирования выделяются максимумы на юго-западе и на северо-западе Пермского края. Они, вероятно, имеют объективный характер, что позволяет сделать предварительный вывод о повышенной повторяемости их на данной территории.

Минимальное число случаев конвективных опасных метеорологических явлений наблюдается в районе Камского водохранилища (рис. 4, *б*). Появление этого минимума можно объяснить медленным прогревом водной массы водохранилища в летний период, что приводит к подавлению развития конвекции.

## Заключение

Существующая наблюдательная сеть не позволяет выявить все неоднородности пространственного распределения случаев опасных явлений погоды, обусловленные влиянием особенностей ландшафта. В этих условиях могут быть предложены разные способы картографирования климатических характеристик опасных метеорологических явлений на региональном уровне.

Первый способ (интерполяция данных наблюдательной сети с учетом высотных зависимостей) позволяет получить достаточно подробную и реалистичную картину пространственного распределения опасных явлений погоды. Это показано на примере построенных карт климатических характеристик сильных дождей. Однако этот способ может быть использован только в тех случаях, когда высотная зависимость объективно существует и подтверждается результатами анализа климатических рядов данных об опасных метеорологических явлениях (что возможно не для всех типов явлений).

Другим способом (который используется для картографирования климатических характеристик локальных опасных явлений) может быть расчет плотности пространственного распределения случаев с использованием дополнительной информации (например, данных об ущербе от них). Однако при этом необходимо учитывать, что данные об ущербе обычно являются неполными и нерепрезентативными.

Плотность пространственного распределения зафиксированных случаев локальных конвективных явлений не идентична их реальной климатической повторяемости и зависит от плотности наблюдательной сети. При проведении расчета с нормированием на плотность наблюдательной сети можно получить более достоверную оценку пространственного распределения локальных опасных метеорологических явлений и выявить зоны повышенной повторяемости. По результатам выполненных расчетов выделены максимумы повторяемости на юго-западе и северо-западе Пермского края.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь: Изд-во ООО «Раритет-Пермь», 2014. 296 с.
2. Калинин Н.А., Смородин Б.Л. Редкое явление замерзающего дождя в Пермском крае. Метеорология и гидрология. 2012. № 8. С. 27-35.
3. Калинин Н.А., Попова Е.В. Численный прогноз опасных и неблагоприятных снегопадов в Пермском крае 15–16 марта 2013 года // Уч. записки Рос. гос. гидрометеорологического ун-та. 2013. № 32. С. 7-16.
4. Калинин Н.А., Ветров А.Л., Связзов Е.М., Попова Е.В. Изучение интенсивной конвекции в Пермском крае с помощью модели WRF // Метеорология и гидрология. 2013. № 9. С. 21-30.
5. Коршунов А.А., Шаймарданов М.З., Шаймарданова И.Л. Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие экономики России для обслуживания потребителей: результаты статистического анализа опас-

- ных условий погоды // Методический кабинет Гидрометцентра России. URL: <http://method.hydromet.ru> (дата обращения: 07.09.2013).
6. Опасные и неблагоприятные условия погоды, нанесшие экономические и социальные потери населению и экономике России в 2010 г. Обзор ВНИИГМИ-МЦД. URL: <http://method.hydromet.ru> (дата обращения: 09.07.2013).
  7. Панфутова Ю.А. Опасные метеорологические явления на равнинной территории России и риски, создаваемые ими: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2008. 21 с.
  8. Грищенко О.И. Опасные явления погоды в условиях изменения климата на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2011. 28 с.
  9. Национальный Атлас России. Том 2. URL: <http://национальныйатлас.рф/cd2/territory.html> (дата обращения 19.05.2015).
  10. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / под ред. С.К. Шойгу. М.: ДИК, 2005. 270 с.
  11. Иркутская область: экологические условия развития. Атлас / под ред. В.В. Воробьева. М.; Иркутск, 2004. URL: <http://irkipedia.ru/istochniki/irkutskaya-oblast-ekologicheskie-usloviya-razvitiya> (дата обращения: 18.05.2015).
  12. Гаврилова С.А. Картографирование природных чрезвычайных ситуаций на территории России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2013. 27 с.
  13. Стихийные гидрометеорологические явления в Пермской области / А.Д. Дробышев, А.М. Комлев, Н.Н. Назаров, Ю.А. Пермяков, Е.А. Черных // Проблемы географии и геоэкологии Урала: Сб. статей. Пермь. 1996. С. 105-112.
  14. Калинин Н.А., Фрик Л.В., Смирнова А.А. Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков // Географический вестник. 2008. № 2. С. 187-195.
  15. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала: справочник специалиста. Ч. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 200 с.
  16. Шкляев В.А. Особенности распределения конвективных явлений на Урале // Вопросы прогноза погоды, климата и циркуляции атмосферы: межвуз. сб. науч. трудов. Пермь, 1990. С. 76-86.
  17. Калинин Н.А., Поморцева А.А. Влияние орографии на поля облаков и осадков в Пермском крае // Уч. записки Рос. гидрометеорологического ун-та. 2014. № 37. С. 84-93.
  18. Калинин Н.А., Булгакова О.Ю., Казакова К.А., Пенский О.Г. Условия адаптации транспортных сетей к погодноклиматической неустойчивости на территории Пермского края // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о земле. 2011. Вып. 4. С. 127-131.
  19. Метеорологический ежегодник / Уральское УГМС. 1981–2012. Вып. 1-12.
  20. European Severe Weather Database. URL: <http://essl.org/cgi-bin/eswd/eswd.cgi> (дата обращения: 07.09.2013).
  21. Коновалова Н.В., Коробов В.Б., Васильев Л.Ю. Интерполирование климатических данных при помощи ГИС-технологий // Метеорология и гидрология. 2006. № 5. С. 46-53.
  22. Шутов В.А. Интерполяция и расчет снегозапасов в речных бассейнах с учетом рельефа местности // Метеорология и гидрология. 1996. № 10. С. 67-74.
  23. Шихов А.Н. Оценка последствий стихийных природных явлений для лесных ресурсов Пермского края по многолетним рядам данных космической съемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 21-30.
  24. Silverman B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. New York, Chapman and Hall, 1986. 22 p.
  25. ArcGis Resources. Справочная библиотека ArcGis. URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/> (дата обращения: 20.05.2015).
  26. Boruff B.J., Easoz J.A., Jones S.D., Landry H.R., Mitchem J.D., Cutter S.L. Tornado hazards in the United States // Climate Research. 2003. Vol. 24. P. 103-117.

Поступила в редакцию 07.06.15

*R.K. Abdullin, A.N. Shikhov*

#### **MAPPING OF SPACE-TIME DISTRIBUTION OF DANGEROUS METEOROLOGICAL PHENOMENA IN PERM REGION**

Dangerous meteorological phenomena are one of the sources of natural emergencies. The purpose of research is to develop a technique of mapping the climatic characteristics of severe weather events in the regional scale (by the example of the Perm region). Using actual source data, the maps of frequency and intensity of some hazardous meteorological phenomena were constructed for the first time, taking into account the altitude dependence. It is shown that in conditions of mountainous terrain and disperse observation network it provides a realistic assessment of the spatial distribution of severe weather. For local convective events (squalls, large hail, tornadoes), the authors proposed the technique of mapping based on the calculation of the spatial density distribution. As a source of information one can use not only the data network of weather stations, but also the results of surveys on the fact of the damage from severe weather events.

However, it was found that the number of reported cases of local convective events is defined as the actual frequency of phenomena, and the density of the observation network in the studied area.

*Keywords:* dangerous meteorological phenomena, spatial distribution, mapping, interpolation, density.

Абдуллин Ринат Камилевич, аспирант  
кафедры картографии и геоинформатики  
E-mail: rinaha-26@mail.ru

Шихов Андрей Николаевич,  
кандидат географических наук, старший преподаватель  
кафедры картографии и геоинформатики  
E-mail: and3131@inbox.ru

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный  
национальный исследовательский университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15

Abdullin R.K., postgraduate student  
at Department of cartography and geoinformatics  
E-mail: rinaha-26@mail.ru

Shikhov A.N.,  
Candidate of Geography, Senior lecturer  
at Department of cartography and geoinformatics  
E-mail: and3131@inbox.ru

Perm State National Research University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990