

КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.9

DOI: 10.22389/0016-7126-2017-925-7-00-00

Синтетическое картографирование опасных метеорологических явлений на региональном уровне

© Абдуллин Р. К., Шихов А. Н., 2017

Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
gis@psu.ru

Предложена и реализована методика синтетического картографирования опасных явлений погоды на региональном уровне (на примере территории Пермского края). На ее основе впервые построены карты повторяемости климатических экстремумов, а также проведено районирование территории по преобладающим видам опасных явлений. Методом взвешенной интегральной балльной оценки, учитывая в первом приближении «степень опасности» каждого явления, в пределах Пермского края выделена область максимальной повторяемости климатических экстремумов. Она приурочена к горным районам Северного Урала. Также повышенная их повторяемость характерна для южных районов края. Область минимальной повторяемости климатических экстремумов расположена в районе Камского водохранилища. Районирование территории по преобладающим видам опасных явлений погоды проведено экспертным методом и на основе пространственного кластерного анализа. Результаты районирования, полученные с применением обоих методов, характеризуются достаточно высокой степенью подобия. В обоих случаях выделены идентичные по очертаниям границ районы высокой повторяемости сильных дождей и снегопадов, сильных морозов и сильной жары. Различия между полученными результатами районирования имеют частный характер, что указывает на возможность применения автоматизированного районирования на основе кластерного анализа.

Интегральная балльная оценка, математико-картографическое моделирование, опасные явления погоды, районирование, синтетическое картографирование.

Для цитирования: Абдуллин Р. К., Шихов А. Н. Синтетическое картографирование опасных метеорологических явлений на региональном уровне // Геодезия и картография. – 2017. – Т. 78. – № 7. – С. 00–00. DOI: 10.22389/0016-7126-2017-925-7-00-00.

Введение

Картографирование пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений (ОГМЯ) представляет значительный интерес в связи с современным изменением климата и его возможными последствиями. Однако некоторые его методические аспекты разработаны недостаточно [2]. Наибольшее распространение получили аналитические карты, на которых отображены различные характеристики (повторяемость, интенсивность) отдельных видов опасных яв-

ний (ОЯ). Помимо аналитических карт для получения целостного представления об изучаемых явлениях создаются синтетические карты на основе интеграции множества частных показателей и (или) серий аналитических и комплексных карт. Основные задачи, которые могут быть решены на основе метода синтетического картографирования, – это комплексная оценка подверженности территории воздействию ОГМЯ, районирование по преобладающим видам ОГМЯ, а также оценка территориального риска (включая риск гибели лю-

дей и величину экономического ущерба). В последние годы был опубликован ряд значимых работ, посвящённых решению данной проблемы на глобальном уровне или в отдельных странах. К ним относится Мировой атлас рисков стихийных бедствий [10]. В России на национальном уровне аналогичные исследования проводились при создании Атласа природных и техногенных опасностей и рисков [1]. В частности, в этом атласе приведена карта климатических экстремумов – предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций на которой отображено зонирование территории России по нескольким климатическим параметрам, включая среднее многолетнее число дней с температурой воздуха выше +30 °С и ниже –40 °С, с осадками более 50 мм/сут и скоростью ветра более 20 м/с. На региональном уровне в России подобные карты ранее не создавались.

Целью настоящего исследования была разработка методики создания синтетических карт опасных метеорологических явлений: повторяемости климатических экстремумов и районирования по преобладающим видам опасных явлений на региональном уровне (на примере территории Пермского края). В рамках настоящего исследования авторами статьи рассматривалось пространственное распределение самих опасных явлений, а не связанных с ними социально-экономических потерь. Задача оценки возможного экономического ущерба от ОГМЯ не ставилась в связи с тем, что сведения об ущербе на региональном уровне не систематизированы. Подобные базы данных существуют лишь на федеральном уровне [6].

Для создания синтетических карт применяется комплекс методов, позволяющих синтезировать исходные данные. Традиционно синтетические карты создавались путём обобщения ряда аналитических карт посредством сводки, сопоставления, совместного истолкования и интерпретации их содержания. С развитием ГИС-технологий расширились возможности применения методов многомерного статистического

анализа и классификации при синтетическом картографировании и районировании.

Исходные данные

В качестве информационной базы использовался многолетний ряд данных о случаях опасных метеорологических явлений в Пермском крае за период с 2001 по 2015 г. Такой короткий временной ряд был использован в связи с тем, что данные за этот период являются наиболее полными. Кроме того, в период с 2001 по 2015 г. не происходили изменения сети наблюдений.

Прежде чем произвести синтез данных, была рассчитана повторяемость каждого из рассматриваемых ОЯ (сильных дождей, сильных снегопадов, сильных морозов, сильной жары), выраженная как число случаев за 15 лет. При расчёте повторяемости использовались её зависимости от свойств подстилающей поверхности. Для случаев конвективных опасных явлений локального характера (шквалов, крупного града и смерчей) рассчитывалась не повторяемость, а плотность пространственного распределения (число случаев/1000 км² × 10 лет). И использованные исходные данные показаны на рис. 1. Все полученные данные были представлены в виде растров с размером ячейки 1000 м. Затем, для устранения локальных неоднородностей в данных, было проведено их осреднение в ячейках размером 10 × 10 км. Обработка данных производилась средствами пакета ArcGis 10*.

Методика и результаты создания синтетических карт

Создание карты интегральной оценки повторяемости климатических экстремумов. Поскольку используемые в настоящей работе критерии ОЯ погоды имеют количественное выражение и никак не связаны с величиной ущерба, их можно, по аналогии с работой [1], рассматривать как климатические экстремумы. Интегральная оценка повторяемости климатических экстремумов была реализована на основе известного метода интегральной балльной оценки

[4]. Для выполнения расчёта каждый из рассматриваемых показателей (повторяемость того или иного явления в ячейках регулярной сетки) был переведён в баллы по формуле:

$$b_{ij} = \frac{N_{ij} - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}},$$

где b_{ij} – балльная оценка анализируемого j -го показателя для i -го объекта; N_{ij} – значение анализируемого j -го показателя для i -го объекта в натуральных единицах измерения; $N_{\max}$ и $N_{\min}$ – максимальное и минимальное значения анализируемого j -го показателя для i -го объекта в натуральных единицах измерения.

В результате ячейка с максимальным значением показателя (повторяемости того или иного опасного явления) получает балл равный 1, а ячейка с минимальным значением показателя – балл равный 0. Баллы в остальных ячейках имеют значения $0 < b_{ij} < 1$. На следующем этапе производился расчёт интегральной балльной оценки путём взвешенного суммирования балльных оценок всех показателей для каждой ячейки.

Основной проблемой при взвешенном суммировании является определение весов. Обычно весовые коэффициенты показателей определяются экспертным путём.

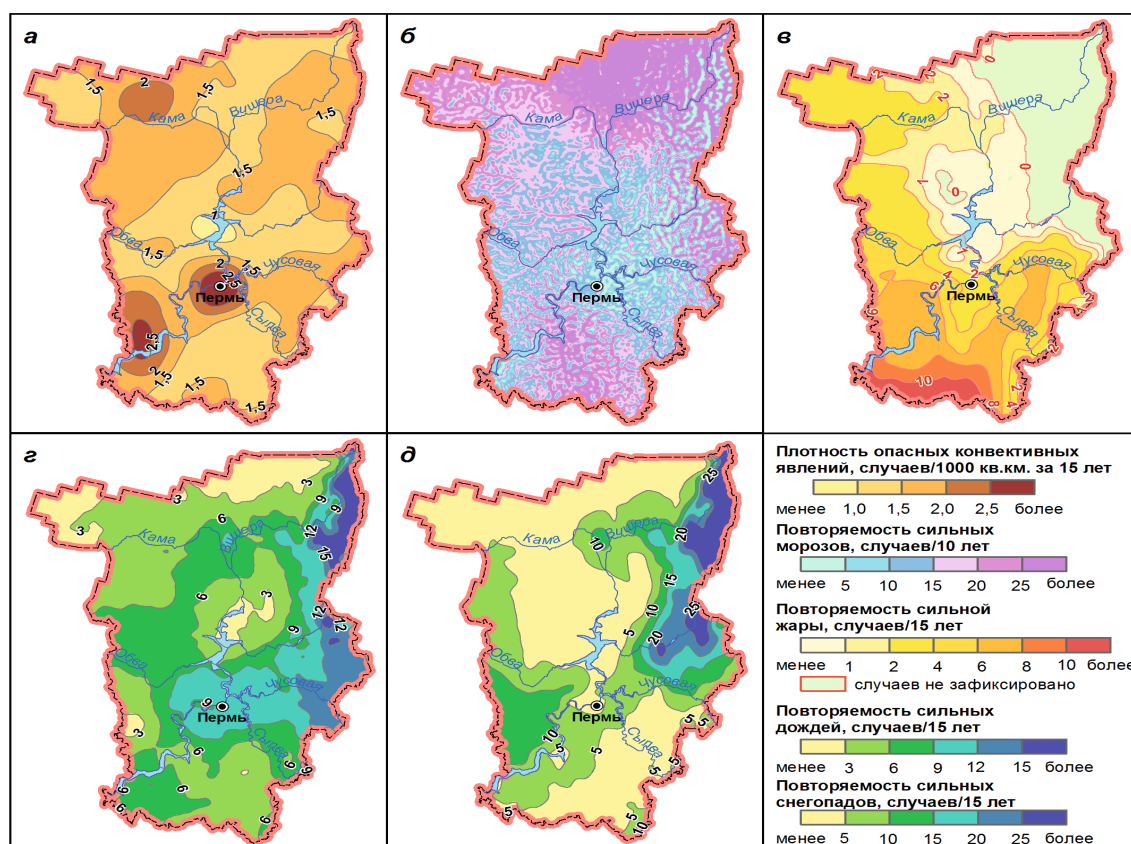


Рис. 1. Карты пространственно-временного распределения опасных явлений погоды, использованные в качестве основы для создания синтетических карт:
 а – плотность опасных конвективных явлений; б – повторяемость сильных морозов;
 в – повторяемость сильной жары; г – повторяемость сильных дождей;
 д – повторяемость сильных снегопадов

Fig. 1. The maps of spatio-temporal distribution of severe weather events, used as a basis for creating synthetic maps:

а – the density of hazardous convective phenomena;
 б – the frequency of strong frosts; в – the frequency of hazardous heat;
 г – the frequency of heavy rainfalls; д – the frequency of heavy snowfalls

В нашем случае, в качестве весовых показателей могут использоваться данные о социально-экономическом ущербе от различных видов опасных явлений, а также соотношение числа случаев рассматриваемых видов ОЯ (табл. 1). Социально-экономический ущерб позволяет оценить «степень опасности» каждого вида явлений. Систематизированные сведения об ущербе от опасных явлений погоды в регионе отсутствуют, однако имеются данные о факте наличия или отсутствия ущерба. Для каждого вида явления была вычислена доля случаев, нанесших ущерб. Максимальной она оказалась для конвективных явлений (83,8 % случаев вызывает ущерб), а минимальной – для сильных дождей (только 18 % случаев вызывает ущерб). Соотношение частоты случаев различных видов ОЯ также необходимо рассматривать в качестве весового показателя, поскольку интегральная балльная оценка имеет относительный характер, и при её расчёте частота возникновения явления не учитывается. Наибольший вес по данному показателю имеют сильные морозы (44,6 % всех случаев ОЯ), а наименьший – сильная жара и конвективные явления (7,7 % и 7,8% случаев соответственно). Полученная синтетическая карта интегральной оценки повторяемости климатических экстремумов приведена на рис. 2.

Анализируя полученную карту (см. рис. 2), можно выделить следующие основные закономерности. Повторяемость климатических экстремумов в горной ча-

сти края районах выше, чем на равнине главным образом за счёт высокой повторяемости сильных дождей и снегопадов. Данный вывод соответствует результатам ранее проведённых исследований [5]. Второй максимум повторяемости климатических экстремумов приурочен к южной и юго-западной частям Пермского края. Его выделение связано с высокой повторяемостью сильной жары и конвективных опасных явлений (по юго-западным районам), а также с тем, что эти явления часто вызывают социально-экономический ущерб, и при расчёте имели более высокий весовой коэффициент. В центральных районах края ярко выражен минимум повторяемости климатических экстремумов.

В целом полученная карта является достаточно адекватной, поскольку отображает основные закономерности интегральной подверженности территории региона опасным явлениям. Используемый метод позволяет выделить зоны с различной повторяемостью климатических экстремумов. Недостатком данного метода является относительность интегрального показателя. Например, выделенные области высокой повторяемости климатических экстремумов для территории Пермского края могут соответствовать областям низкой повторяемости для какого-либо другого региона или наоборот.

Районирование территории по преобладающим видам опасных метеорологических явлений было проведено двумя

Таблица 1

Весовые коэффициенты, использованные при расчёте интегральной балльной оценки

Table 1. The weights used to calculate the integral score

Вид опасного явления	Суммарное число случаев в Пермском крае за 2001–2015 гг.	Доля случаев опасных явлений, нанёсших ущерб, %	Весовой коэффициент
Сильные морозы	447 (44,6 %)	45,0	0,3
Сильная жара	77 (7,7 %)	81,5	0,19
Сильные снегопады	203 (20,2 %)	45,0	0,18
Сильные дожди	197 (19,7 %)	18,0	0,14
Опасные конвективные явления	78 (7,8 %)	83,8	0,19
Сумма	1002 (100 %)	–	1

способами: экспертным методом, а также методом пространственного кластерного анализа. Используемые исходные данные идентичны данным, по которым рассчитана повторяемость климатических экстремумов.

При проведении районирования *первым способом* производился переход от количественных характеристик повторяемости ОЯ к качественным характеристикам. Для этого была создана таблица переклассификации (табл. 2) на основе среднего значения повторяемости μ и стандартного отклонения σ для каждого явления в пределах Пермского края. Поскольку распределение исходных данных в ряде случаев отличалось от нормального, предварительно была проведена их нормализация с помощью степенного или логарифмического преобразования (выбор способа преобразования определялся свойствами данных). Переклассификация производилась уже для нормализованных данных. В результате были получены пять растров повторяемости, выраженной в качественных характеристиках, которые затем были конвертированы в векторное представление данных и объединены.

Дальнейшая работа сводится к редактированию полученного векторного слоя с целью выделения характерных сочетаний повторяемости различных видов ОЯ. В результате, в пределах территории Пермского края были выделены шесть районов, характеризующиеся различными сочетаниями (рис. 3, а). В первую очередь выделялись районы с экстремально высокой повторяемостью того или иного явления, затем производилось выделение районов со средней и низкой повторяемостью.

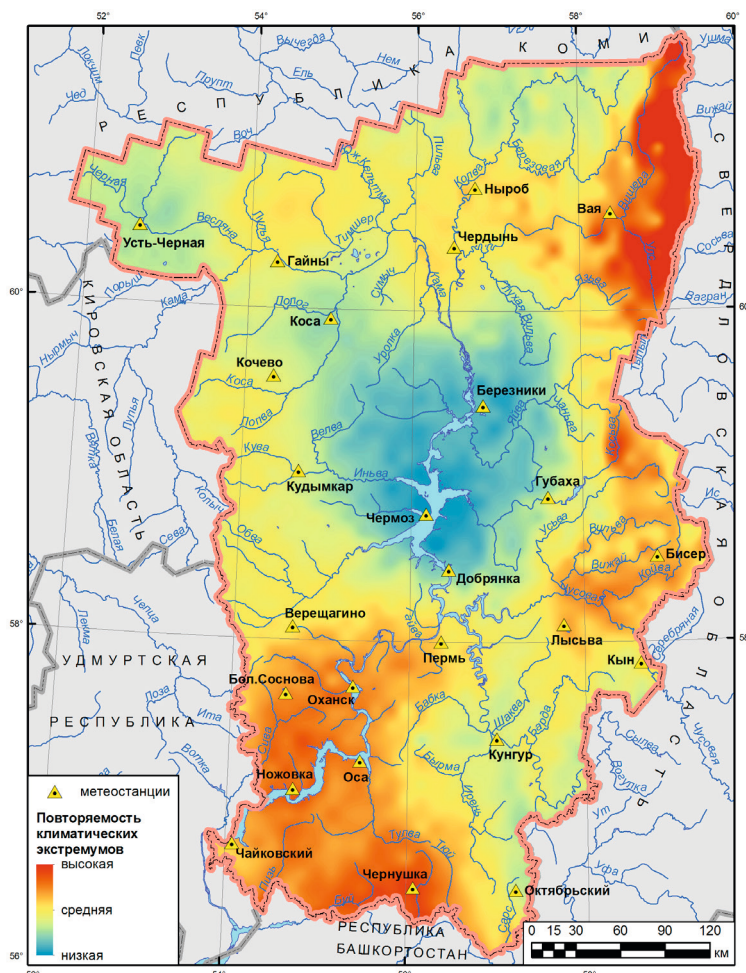


Рис. 2. Синтетическая карта интегральной оценки повторяемости климатических экстремумов, вычисленной путём взвешенного суммирования
Fig. 2. The synthetic map of the climatic extremes frequency integral estimation, calculated by weighted summation

Таблица 2

Переклассификационная таблица для определения качественных характеристик повторяемости опасных метеорологических явлений

Table 2. Reclassification table for determining the qualitative characteristics of the frequency of severe weather events

Диапазон значений	Качественная характеристика повторяемости
$P < (\mu - 2\sigma)$	Экстремально низкая
$(\mu - 2\sigma) < P < (\mu - \sigma)$	Низкая
$(\mu - \sigma) < P < \mu$	Умеренно низкая
$\mu < P < (\mu + \sigma)$	Умеренно высокая
$(\mu + \sigma) < P < (\mu + 2\sigma)$	Высокая
$P > (\mu + 2\sigma)$	Экстремально высокая

Примечание: Р – фактическая повторяемость; μ – среднее значение повторяемости явления; σ – стандартное отклонение повторяемости явления.

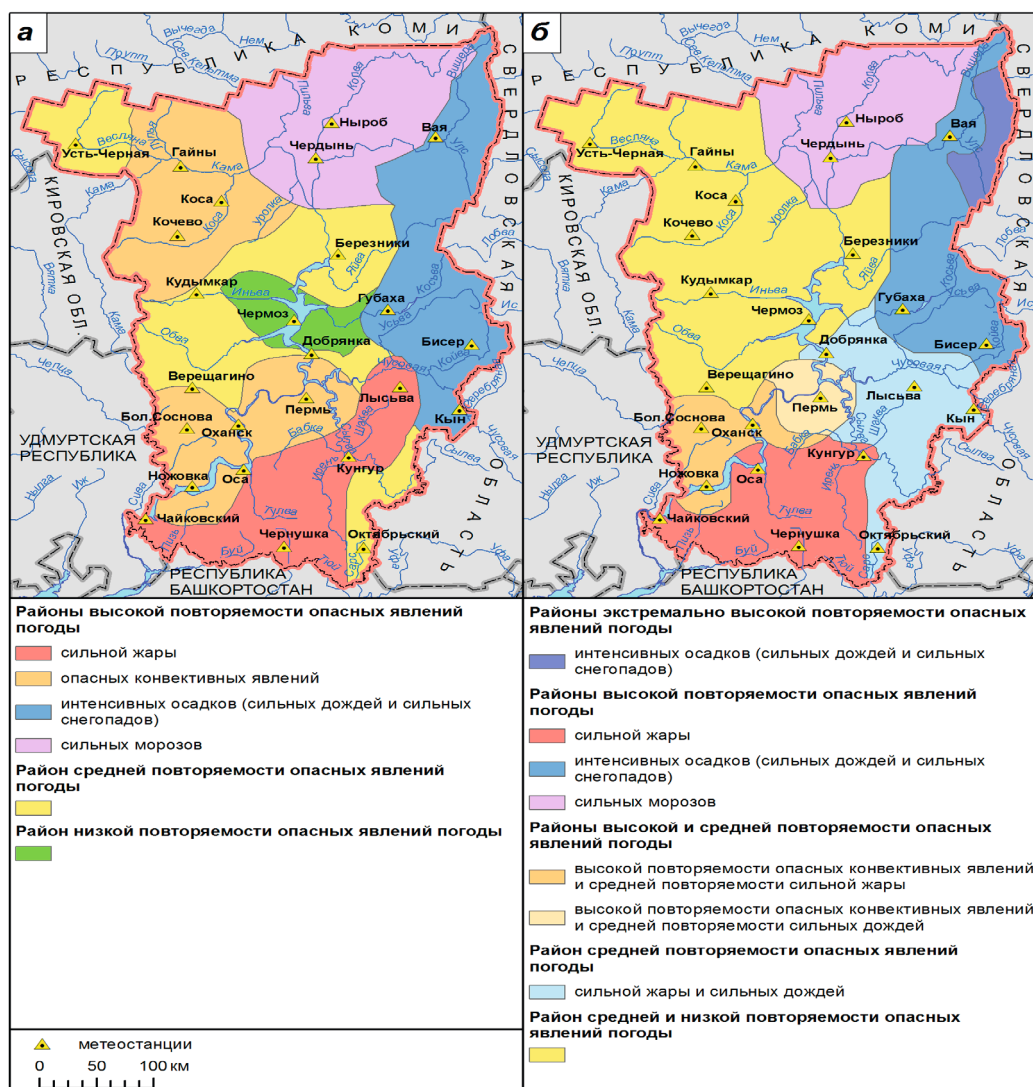


Рис. 3. Районирование территории Пермского края по преобладающим видам опасных метеорологических явлений:
а – полученное экспертным методом; б – на основе пространственного кластерного анализа (анализа группировки)

Fig. 3. Zoning of the Perm region by the prevailing types of severe weather events:
а – expert evaluation; б – based on spatial cluster analysis (grouping analysis)

На полученной карте отражены основные закономерности пространственного распределения различных видов опасных метеорологических явлений. Район высокой повторяемости сильных дождей и снегопадов соответствует территории Северного и Среднего Урала, что объясняется барьерным эффектом меридионально ориентированного горного массива. Район высокой повторяемости сильных морозов приурочен к крайней северной части Пермского края, а район высокой повторяемости сильной жары – к южным и частично

к юго-восточным районам. Последняя особенность обусловлена высокой повторяемостью сильной жары на метеостанциях Лысьва и Кунгур.

Выделены два района высокой повторяемости опасных конвективных явлений – в юго-западной и центральной (включая г. Пермь), а также в северо-западной части края. В первом районе наблюдалось наибольшее число случаев шквалов и крупного града, а во втором – зафиксировано семь случаев смерчей. Область низкой повторяемости всех видов ОЯ (за исключением

сильных морозов) приурочена к району Камского водохранилища. В летний период медленно прогревающееся Камское водохранилище подавляет развитие конвекции [7], с чем связано снижение числа случаев конвективных явлений и сильных дождей. Остальные районы характеризуются средним уровнем повторяемости большинства видов ОЯ.

Второй способ районирования территории по преобладающим видам опасных явлений основан на пространственном кластерном анализе. Сущность кластерного анализа состоит в выделении в исходных многомерных данных (многомерном пространстве признаков) естественных сравнительно однородных скоплений объектов – кластеров. В последнее время кластерный анализ получил широкое применение как инструмент районирования [3]. Реализация кластерного анализа средствами ГИС-технологий также позволяет учитывать пространственные отношения между анализируемыми объектами.

Для проведения районирования использовался инструмент Grouping Analysis (Spatial Statistics) в пакете ArcGis 10.2. Данный инструмент позволяет производить группировку (кластеризацию) объектов на основе атрибутивной информации, используя также дополнительные пространственные ограничения (Spatial constraints). Пространственные ограничения необходимы, если требуется получить компактные, непрерывные или близкие в пространстве кластеры. При использовании пространственных ограничений объекты могут входить в один кластер только в том случае, если у них есть общее ребро или вершина с другим объектом в данном кластере [8].

Кластеризация без пространственных ограничений выполняется на основе алгоритма К-средних. При указании пространственных ограничений применяется пространственный кластерный анализ с помощью алгоритма минимального остового дерева. В этом случае сначала формируется граф связности, представляющий соседские отношения объектов. На основе

графа связности строится минимальное остовое дерево, которое отражает как пространственные отношения объектов, так и сходство атрибутивных данных. Кластеризация производится путём деления минимального остового дерева так, чтобы минимизировать расхождение в полученных группах, избегая при этом создания групп только с одним объектом. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет получено заданное пользователем число кластеров [8]. Более подробное описание данного алгоритма, который имеет название SKATER (пространственный кластерный анализ с удалением ребра дерева), и опыт его применения описан в работе [9].

В настоящем случае в качестве входных данных для кластеризации был использован векторный полигональный слой в виде регулярной сетки с размером ячейки 10×10 км, в атрибутивную таблицу которого были записаны осредненные по ячейкам значения повторяемости различных видов опасных явлений. Для обеспечения пространственной связности кластеров было использовано пространственное ограничение Nearest neighbors. При этом каждый объект в одной группе является соседом, по крайней мере, для одного другого объекта в данной группе. Соседские отношения основаны на ближайших К- объектах (значение К было принято равным восьми). Для определения оптимального числа кластеров была вычислена псевдо-*f* статистика Калински-Харабаса (*Calinski-Harabasz pseudo F-statistic*). Её значение отражает сходство объектов в кластере и различие между кластерами (при разном их числе). В инструменте Grouping Analysis псевдо-*f* статистика рассчитывается для оценки эффективности деления объектов на разное число кластеров (от 2 до 15) [8].

Результаты вычисления псевдо-*f* статистики (полученные из файла отчёта, сгенерированного при запуске инструмента Grouping Analysis) показывают, что оптимальным является выделение в исходных данных восьми кластеров (рис. 4). Последующая интерпретация полученных кла-

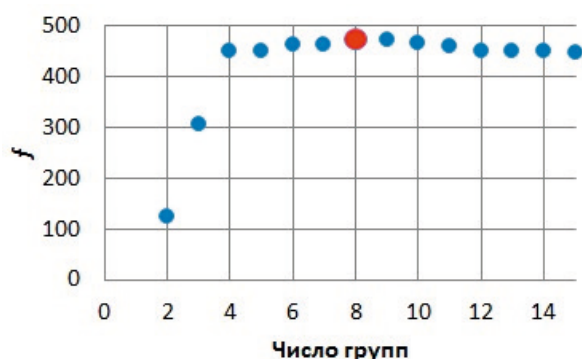


Рис. 4. Диаграмма псевдо- f статистики для разного числа групп
Fig. 4. Diagram of pseudo- f statistics for different number of clusters

стеров и сравнение с результатами экспертного районирования также показывает, что подобное деление является оптимальным. Полученные результаты кластеризации приведены на рис. 3, б.

Результаты районирования, полученного экспертным методом и методом кластерного анализа, характеризуются достаточно высокой степенью подобия. В обоих случаях выделяются сходные районы на востоке Пермского края, которые соответствуют областям высокой повторяемости сильных дождей и снегопадов. Причём при использовании метода кластерного анализа выделяется также область с экстремально высокой повторяемостью данных явлений. В северной части региона при использовании обоих методов выделяются сходные по очертаниям границ районы с высокой повторяемостью сильных морозов. Кроме того, в южной и юго-западной частях региона на обеих картах представлены районы, которые характеризуются высокой повторяемостью сильной жары. Их отличие заключается лишь в том, что на карте, полученной экспертным методом, данный район простирается дальше в северном направлении до р. Чусовой.

К сходным чертам полученных карт также можно отнести выделение районов с высокой повторяемостью опасных конвективных явлений. На карте, полученной методом пространственного кластерного анализа, выделилось два таких района в юго-западной и центральной частях края. Их разделе-

ние связано с тем, что юго-западный сектор характеризуется также более высокой повторяемостью сильной жары, а в центральном секторе выше повторяемость сильных дождей. При использовании экспертного метода данные районы были объединены. Однако был выделен ещё один аналогичный район в северо-западной части края, где зафиксировано большинство случаев смерчей.

Район средней повторяемости ОЯ, выделенный экспертным методом, состоит из трёх частей. Также вблизи Камского водохранилища выделяется район низкой повторяемости ОЯ. При районировании методом пространственного кластерного анализа районы со средней и низкой повторяемостью всех видов ОЯ были объединены. Таким образом, полученные разными методами карты районирования имеют как очевидные сходства, так и ряд различий, вызванных субъективностью при использовании экспертного метода.

Заключение

Предложенные подходы к созданию синтетических карт опасных метеорологических явлений на региональном уровне позволяют объективно провести районирование территории по преобладающим видам данных явлений, а также оценить подверженность территории их воздействию. Тем самым решается задача оценки территориального риска, обусловленного опасными явлениями погоды, что имеет большое значение в условиях изменения климата. Представленные задачи на региональном уровне решены впервые, ранее подобные карты строились лишь для более крупных единиц территориального деления.

На основе интегральной балльной оценки, учитывающей в первом приближении «степень опасности» каждого явления, в пределах Пермского края выделена область максимальной повторяемости климатических экстремумов. Она приурочена к горным районам Северного Урала. Также повышенная их повторяемость характерна для южных районов края. Область минимальной повторяемости климатических

экстремумов расположена в районе Камского водохранилища.

Районирование территории Пермского края по преобладающим видам опасных явлений погоды, выполненное методами пространственного кластерного анализа и экспертным методом, обеспечивает получение сходных результатов. В обоих случаях выделены идентичные по очертаниям границ районы высокой повторяемости сильных дождей и снегопадов, сильных морозов и сильной жары. Различия между полученными результатами районирования имеют частный характер, что указывает на возможность применения автоматизированного районирования на основе кластерного анализа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-45-590056 p-a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас* природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под ред. С. К. Шойгу. – М.: ДИК, 2005. – 270 с.
2. *Гаврилова С. А.* Картографирование природных чрезвычайных ситуаций на территории России: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. 25.00.33. – М.: МГУ, 2013. – 24 с.

3. *Гилязов А. Ф.* Кластерный анализ как инструмент районирования территории по крупности речных наносов (на примере бассейна Волги) // Вестн. Удмуртского ун-та. Серия 6. Биология. Науки о Земле. – 2015. – № 2. – С. 149–158.

4. *Иванова М. Б.* Математические методы в социально-экономической географии. – Пермь: изд. Перм. гос. ун-та, 2007. – 315 с.

5. *Калинин Н. А.* Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах: Монография. – Пермь: изд. Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2015. – 308 с.

6. *Сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях, нанёсших социальные и экономические потери на территории России.* Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных. – URL: <http://meteo.ru/data/310-neblagopriyatnyye-usloviya-pogody-nanjosshie-ekonomicheskie-poteri> (дата обращения 26.10.2016).

7. *Шкляев В. А.* Особенности распределения конвективных явлений на Урале / Вопросы прогноза погоды, климата и циркуляции атмосферы: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь: изд. Перм. гос. ун-та, 1990. – С. 76–86.

8. *ArcGIS Resources.* ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2. Grouping Analysis (Spatial Statistics). – URL: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#na/005p00000051000000/> (дата обращения 26.10.2016).

9. *Assunção R. M., Neves M. C., Câmara G. and Da Costa Freitas C.* (2006) Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees // *International Journal of Geographical Information Science*. – V. 20(7). – P. 797–811.

10. *Shi P. J., Karsperson R.* (2015) *World Atlas of Natural Disaster Risk*. Heidelberg: Springer. – 368 p.

Synthetic mapping of hazardous meteorological phenomena at the regional scale level

¹Abdullin R. K., ²Shikhov A. N..

Perm State University
614990, Russia, Perm, Bukireva street, 15
¹rinaha-26@mail.ru ²and3131@inbox.ru

The article describes a method of synthetic mapping of severe weather events at regional scale level (on example of Perm Region). There is created for the first time the maps of climatic extremes frequency and prevalent types of severe weather events. Using a weighted numerical score method, we have identified the area of maximum frequency of climatic extremes occurrence within Perm region. It is located in the mountainous region of the Northern Urals. Also, a significant frequency of climatic extremes is typical in the southern part of the region. Area of minimum climatic extremes frequency is located near the Kama Reservoir. When performing this calculation, we take into account the approximate severity of each type of climatic extreme. Territory zoning according to prevailing types of severe weather events carried out by two different methods. There are expert method and spatial cluster analysis. The zoning results, produced using the two methods, are characterized by a high degree of similarity. Both methods were identified the similar areas of high frequency of heavy rainfall and snowfall, severe frosts and heatwaves occurrence. The differences between zoning results are insignificant. This demonstrates the possibility of automated zoning method based on cluster analysis.

Integrated rating estimation, GIS-based modeling, severe weather events, zoning, synthetic mapping.

For citations: *Abdullin R. K., Shikhov A. N.* (2017) Sinteticheskoe kartografirovanie opasnykh meteorologicheskikh yavleniy na regional'nom urovne [Synthetic mapping of hazardous meteorological phenomena at the regional scale level]. *Geodesy and Cartography* = Geodezija i kartografiya, 78, 7, pp. 00–00 (In Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2017-925-7-00-00.

REFERENCES

1. *Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii v Rossiiskoi Federatsii* [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergencies in the Russian Federation] / Pod red. S. K. Shoigu. – M.: DIK, 2005. – 270 s. (In Russian).
2. *Gavrilova S. A.* Kartografirovanie prirodnikh chrezvychainykh situatsii na territorii Rossii: Avtoref. dis. na soisk. uch. st. kand. geogr. nauk. 25.00.33. [Mapping of natural emergencies on the territory of Russia; PhD Thesis abstract] – M.: MGU, 2013. – 24 s. (In Russian).
3. *Gilyazov A.F.* Klasternyi analiz kak instrument raionirovaniya territorii po krupnosti rechnykh nanosov (na primere basseina Volgi) [Cluster analysis as an instrument of territory zoning by the size of river sediments (on example of the Volga basin)] // *Vestn. Udmurtskogo un-ta. Seriya 6. Biologiya. Nauki o Zemle.* – 2015. – № 2. – S. 149–158. (In Russian).
4. *Ivanova M. B.* Matematicheskie metody v sotsial'no-ekonomicheskoi geografii [Mathematical methods in socio-economic geography]. – Perm': izd. Perm. gos. un-ta, 2007. – 315 s. (In Russian).
5. *Kalinin N. A.* Monitoring, modelirovanie i prognoz sostoyaniya atmosfery v umerennykh shirotakh [Monitoring, modeling and forecasting of the state of the atmosphere in temperate latitudes]: Monografiya. – Perm': izd. Perm. gos. nats. issled. un-ta, 2015. – 308 s. (In Russian).
6. *Svedeniya o neblagopriyatnykh usloviyakh pogody i opasnykh gidrometeorologicheskikh yavleniyakh,* nanesshikh sotsial'nye i ekonomicheskie poteri na territorii Rossii. Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – mirovoi tsentr dannykh [Information on severe weather conditions and dangerous hydrometeorological phenomena, which caused social and economic losses in the territory of Russia. All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center]. – URL: <http://meteo.ru/data/310-neblagopriyatnye-usloviya-pogody-nanjosshie-ekonomicheskie-poteri> (data obrashcheniya 26.10.2016) (In Russian).
7. *Shklyayev V. A.* Osobennosti raspredeleniya konvektivnykh yavlenii na Urale / Voprosy prognoza pogody, klimata i tsirkulyatsii atmosfery [Features of distribution of convective phenomena in the Urals / Questions of weather forecasting, climate and atmospheric circulation]: Mezhd. sb. nauch. tr. Perm': izd. Perm. gos. un-ta, 1990. – S. 76–86 (In Russian).
8. *ArcGis Resources.* ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2. Grouping Analysis (Spatial Statistics). – URL: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/na/005p0000000510000000/> (data obrashcheniya 26.10.2016).
9. *Assunção R. M., Neves M. C., Câmara G. and Da Costa Freitas C.* (2006) Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees // *International Journal of Geographical Information Science.* – V. 20(7). – P. 797–811.
10. *Shi P. J., Karsperson R.* (2015) World Atlas of Natural Disaster Risk. Heidelberg: Springer. – 368 p.