УДК 551.5 : 519.652 : 528.9

# АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПАВОДКА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ (ОПЫТ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА)[1]

***А. В. Погорелов***[2], ***Ю. Ю. Ткаченко***[3], ***Е. Н. Киселёв***[4], ***В. А. Брусило***[5]

ATMOSPHERIC PRECIPITATION AS A FACTOR OF FORMATION OF DISASTROUS FLOOD IN THE KRASNODAR REGION (BASED ON THE GEOSTATISTICAL ANALYSIS)

Pogorelov A. V., Tkachenko Yu. Yu., Kiselev E. N., Brusilo V. A.

The work summarizes the experience of map-making of the precipitation fields which led to disastrous flood on the territory of the Krasnodar region and the contiguous districts in June 2002. High space-time fluctuations of the precipitation demanded the application of special modeling methods based on geostatistical methods of spatial interpolation. In the field under investigation there have been revealed structures in the form of continuums of short time duration with one prevailing intensive process of precipitation formation. The application of the modeling methods is explained by the errors of interpolation and correspondence of constructed maps to the synoptic conditions.

## 1. Проблема моделирования поля осадков

При возникновении опасных гидрометеорологических ситуаций, таких, например, как паводок в бассейне р. Кубани в июне 2002 г., требуются действенные меры реагирования, следовательно, точный оперативный анализ сложившихся условий. Это тем более необходимо, если речь идет о стремительно развивающихся процессах, вызванных обильными, выпадающими в течение нескольких суток атмосферными осадками. Сложность анализа усугубляется выраженной анизотропностью и высокой пространственно-временной неоднородностью структуры летних осадков даже в пределах относительно небольшого региона. В этом случае одним из наиболее эффективных способов исследования распределения осадков является моделирование полей (поверхностей) заданных характеристик при помощи геостатистических методов интерполяций.

В работе впервые геостатистические методы применены для исследования структуры поля аномальных осадков в регионе.

Региональный пространственный анализ осадков, к сожалению, в основном оперирует годовыми нормами — осредненными значениями [1, 2, 3 и др.], не дающими реального представления о временных флуктуациях. В случае кратковременных обильных осадков следует уходить от стандартного способа аналитического представления поля, обращающегося к набору формальных предикторов (высота местности, географическая широта, континентальность, морфометрические показатели рельефа и т.п.). Несмотря на оправданное использование фактора высоты местности в качестве показателя распределения норм осадков в горах [4, 5, 6 и др.], фактор этот далеко не единственный, и применимость его при описании по-

[1]Работа выполнена по программе «Университеты России» (z605-04), при поддержке гранта РФФИ (04-05-65307).

[2]Погорелов Анатолий Валерьевич, д-р геогр. наук, профессор Кубанского государственного университета.

[3]Ткаченко Юрий Юрьевич, канд. геогр. наук, начальник Краснодарского краевого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

[4]Киселёв Евгений Николаевич, студент Кубанского государственного университета.

[5]Брусило Владимир Александрович, студент Кубанского государственного университета.

ля осадков с малым временным разрешением имеет некие пространственные ограничения. (Очевидным методологическим недостатком построения высотных зависимостей является вынужденная «дискретизация» единого поля метеорологических характеристик пределами территориального распространения таких зависимостей.) Впрочем, это касается любого из факторов, участвующих в аналитическом описании — подборе уравнений регрессии.

До настоящего времени работа [7] остается практически единственной, где статистическая структура поля осадков в горных районах исследуется на разных временных интервалах. Геоинформационное моделирование достаточно успешно используется при имитации полей климатических характеристик [8, 9, 10 и др.]. Предпосылки в виде ГИС-технологий, а вместе с ними и массовое внедрение геостатистических методов[6] в сферу моделирования географического пространства [11–14] выводят эту область исследований на качественно новый уровень для постановки задачи описания структуры геополей.

Флуктуации осадков (особенно в условиях расчлененного рельефа и неоднородной земной поверхности) — характерный объект нелинейной динамики. В аспекте информационного подхода к изучению геосистем структура исследуемого поля выступает носителем информации о взаимодействии нижней атмосферы и подстилающей поверхности. Район исследований имеет размеры, сопоставимые с масштабами синоптических образований, что позволяет выявить разноуровневые структурные особенности поля осадков, в том числе структуры локального порядка. Поля осадков конкретной временной реализации, значительно отличающиеся от осредненных «сглаженных» поверхностей, до настоящего времени не были предметом детального анализа. Научная ценность результатов моделирования заключается в развитии представлений о разнопорядковой структуре (полиморфизме) полей осадков с разным временным разрешением и в диагнозе механизмов флуктуаций.

Точный прогноз развития осадкообразующих процессов (в сущности описывающихся неприводимыми алгоритмами) затрудняется их стохастической природой. Однако ретроспективное построение полей осадков при помощи приемов интерполяции целесообразно по меньшей мере по двум причинам: 1) это облегчает понимание генезиса сильных и продолжительных атмосферных осадков в регионе, 2) помогает найти оптимальный метод актуализации полей осадков в виде карт с заданным временным разрешением.

## 2. Паводок и его последствия

В период с 18 по 21 июня 2002 г. в бассейне р. Кубани сложилась чрезвычайная ситуация. Первопричиной послужили сильные и продолжительные дожди, начавшиеся 18 июня и охватившие большую часть Северного Кавказа, из-за чего на реках Юга России сформировались дождевые паводки, наложившиеся на волну снегового половодья и вызвавшие катастрофические наводнения. В результате выпадения сильных осадков на фоне активного таяния снега в горах Западного Кавказа уровень воды в реках Кубань, Уруп, Лаба, Белая поднялся выше критического. Произошло подтопление населенных пунктов Отрадненского, Апшеронского, Мостовского, Успенского, Лабинского, Курганинского районов, части территорий Армавира, Новокубанского и Гулькевичского районов. Разбушевавшаяся стихия сносила дома, мосты, линии электропередач, заливала поля и дороги. Лишь в Отрадненском районе подтоплению подверглось более 3 тыс. жилых домов, затопленным оказался участок площадью 120 км$^2$.

Впоследствии комиссия по расследованию причин наводнения в Краснодарском крае пришла к выводу, что данный паводок не имел аналогов за период инструментальных гидрологических наблюдений как по величине максимальных расходов и подъему уровня воды, так и по ущербу, нанесенному населению и предприятиям. На Кубани было повреждено 76 мостов (46 уничтожено полностью), разрушено более 2,5 тыс. домовладений. Всего подтоплению подверглось 58 населенных пунктов. Особенно значительным был урон в агропромышленном комплексе края: сумма ущерба составила более 250 млн р.

[6]Геостатистика в принятом сейчас понимании означает совокупность статистических приемов обработки пространственных данных, имеющих географическое происхождение.

### 3. Синоптическая обстановка

В ночь с 17 на 18 июня на территорию Краснодарского края сместился полярный фронт, контраст температуры в зоне которого составил 8–10°С/1000 км, при этом воздушная масса во фронтальной полосе имела высокую влажность. Интенсивная адвекция холода привела к обострению фронтального раздела и проникновению холодного воздуха на акваторию Черного моря и территорию Краснодарского края. В зоне фронта произошло формирование мощной конвективной облачности над Черным морем и смещение ее в глубь территории Краснодарского края. Ширина облачной полосы составила в этот момент 300–400 км. Прохождение фронта сопровождалось грозовыми осадками.

Днем 18 июня интенсивность осадков в крае увеличилась. Фронтальные процессы продолжали обостряться, скорость движения фронта замедлилась до 15–20 км/ч при усилении меридиональной направленности. Ширина облачной полосы увеличилась до 500–700 км. В зоне холодного фронта сформировались волновые возмущения, у вершин которых развилась конвективная облачность вертикальной мощностью до 10–14 км. Это привело к сильным и очень сильным дождям.

19 июня динамические условия (дивергенция воздушного потока в нижнем и среднем слое тропосферы) и термические причины (продолжающаяся адвекция холодного воздуха в тылу барической ложбины) способствовали образованию высотного циклона с центром над востоком Краснодарского края. В течение суток холодный фронт, окклюдируясь над Кавказским хребтом, сместился на восток Северного Кавказа. В большинстве районов края прошли дожди, наиболее сильные в его восточной половине и Адыгее. Одновременно над Краснодарским краем сформировался облачный вихрь, соответствующий высотному циклону.

Вечером 19 июня произошла антициклональная перестройка высотного барического поля над востоком Европы, обусловившая изоляцию высотного циклона над Северным Кавказом. Активная фронтальная зона сместилась на Западное Предкавказье, Закавказье и Турцию. Смещение циклона к юго-востоку Южного федерального округа способствовало дальнейшему изменению направления ведущего потока с северо-западного на северо-восточный. В нижних слоях тропосферы происходило непрерывное поступление холодного воздуха и его накопление у наветренных склонов Кавказа, что создавало благоприятные условия для орографической конвекции.

В течение 20 июня отмечалась активизация процесса облакообразования. Облачный вихрь высотного циклона значительно увеличился по площади, вошел в систему облачности холодного фронта, и в результате над южными районами Северного Кавказа сформировался обширный массив сплошных кучевообразных облаков. По данным метеорологического радиолокатора, расположенного в Краснодаре, высота радиоэха 20 июня в юго-восточных районах края достигала в 15 ч 50 мин. 5 км, в 18 ч 45 мин. — 3–5 км, в 21 ч 45 мин. — 5–11 км, что свидетельствовало о мощном развитии конвекции и большой вертикальной протяженности облаков.

Днем 20 июня произошло взаимодействие двух процессов: классического, предусматривающего смещение в предгорные районы полярного фронта и его орографическое окклюдирование, и высокого стационарного циклона. Упорядоченные вертикальные движения были усилены вынужденной орографической конвекцией на северных склонах Кавказа, что привело к регенерации циклона и формированию конвективных облаков горизонтальной протяженностью 600–1000 км и вертикальной — до 10–11 км и, как следствие, выпадению сильных дождей. Изменение ведущего потока способствовало возврату фронтальной облачности на запад и северо-запад: на территорию Адыгеи и восток Краснодарского края. Влияние облачности регенерирующего циклона сказалось даже в районах, расположенных на значительном удалении от предгорных и горных районов Западного Предкавказья. Вечером 20 июня и в ночь на 21 июня сильные дожди прошли в районах, прилегающих к Лабинску, Армавиру и Майкопу.

В связи с распространением 21 июня на территорию края высотного барического гребня и трансформацией воздушной массы погодные условия в большинстве районов улучшились, и днем дожди практически прекратились.

Таким образом, уникальность синоптического процесса для летнего времени вызвана двумя обстоятельствами: во-первых, большой продолжительностью активной циклони-

ческой циркуляции над Северным Кавказом (до 4 суток), во-вторых, наличием (в течение 2 суток) квазиперпендикулярной направленности воздушных потоков по отношению к барьеру Кавказа.

## 4. Атмосферные осадки

Тем не менее, несмотря на уникальность паводочной и синоптической ситуаций, суммы суточных (см. таблицу) и июньских осадков в подавляющем большинстве на исследуемой территории не превысили своих абсолютных максимумов.

Представление о вероятности аномальных значений гидрометеорологических величин дают расчеты обеспеченности. Обеспеченность (вероятность того, что рассматриваемое значение может быть превышено среди совокупности всех возможных значений) суммы июньских осадков 2002 г. для периода 1961–2002 гг. определялась по формуле

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} 100\%,$$

где $m$ — порядковый номер члена ряда величин, расположенных в убывающем порядке; $n$ – общее число членов ряда. Как видим (рис. 1), расчетные вероятности имеют некоторый разброс при обеспеченности менее 20% и ограничены пределами 1,7 и 98,3% . Так, для Краснодара по эмпирическим кривым обеспеченности вероятность зарегистрированного количества осадков в июне 2002 г. составила 4% (период повторения $N = 25$ лет), Кропоткина — 20,5 ($N = 5$ лет), Лабинска — 8,7 ($N = 11$ лет) и Отрадной — 4% ($N = 25$ лет). Из этого следует, что небывалые уровни и расходы воды в р. Кубани и ее притоках и катастрофические последствия таких уровней вызваны не столько величиной осадков, сколько всей совокупностью сопутствующих условий, включая антропогенный фактор.

## 5. Геостатистический анализ полей осадков

Точечные данные осадкомерных пунктов не могут дать исчерпывающего представления о полях выпавших осадков, континуальных по определению. Поэтому изучение их пространственного распределения в аспекте формирования паводка лучше всего проводить путем моделирования таких континуумов. Далее описывается опыт реализации геостатистических методов для оценки структуры полей атмосферных осадков с суточным временным разрешением на территории Краснодарского края. С этой целью использовался программный продукт фирмы ESRI Inc. (США) ArcGIS 8.3 и модуль пространственного анализа Geostatistical Analyst. Последний предназначен для генерирования поверхностей, отображающих пространственные данные посредством широкого набора статистических приемов. Существенно, что модуль Geostatistical Analyst интегрирован в среду ГИС и в нем предусмотрена возможность оценки качества созданных моделей и измерения статистических ошибок интерполяций.

Существуют две основные группы способов интерполяции: детерминированные и геостатистические. При использовании детерминированных методов, основанных на степени подобия (например, метод обратных взвешенных расстояний Inverse Distance Weighting — IDW) или на степени сглаживания (Radial Basis Functions — RBF), строят поверхности по данным точек измерения. Геостатистические методы интерполяции (Kriging), использующие статистические свойства измеренных точек, позволяют строить поверхности вокруг этих точек согласно рассчитанным параметрам автокорреляционных функций. Алгоритм кригинга достаточно эффективен, если при описании статистических свойств пространства применима процедура автокорреляции.

Исследование предполагало: 1) подготовку выборки, анализ ее статистических параметров и пространственной специфики; 2) выбор метода интерполяции и оценку пространственных зависимостей (на ковариационных функциях и вариограммах); 3) выбор наиболее адекватной разновидности интерполяции при помощи гибкого инструментария подгонки моделей; 4) построение разных типов цифровых моделей (поверхности распределения метеорологических характеристик, поверхности распределения стандартных ошибок значений и пр.); 5) анализ структуры поля осадков как функции развития циркуляционных процессов и их взаимодействия с рельефом.

Геостатистический анализ выполнялся по данным 48 осадкомерных пунктов, включая 5, расположенных за пределами Краснодар-

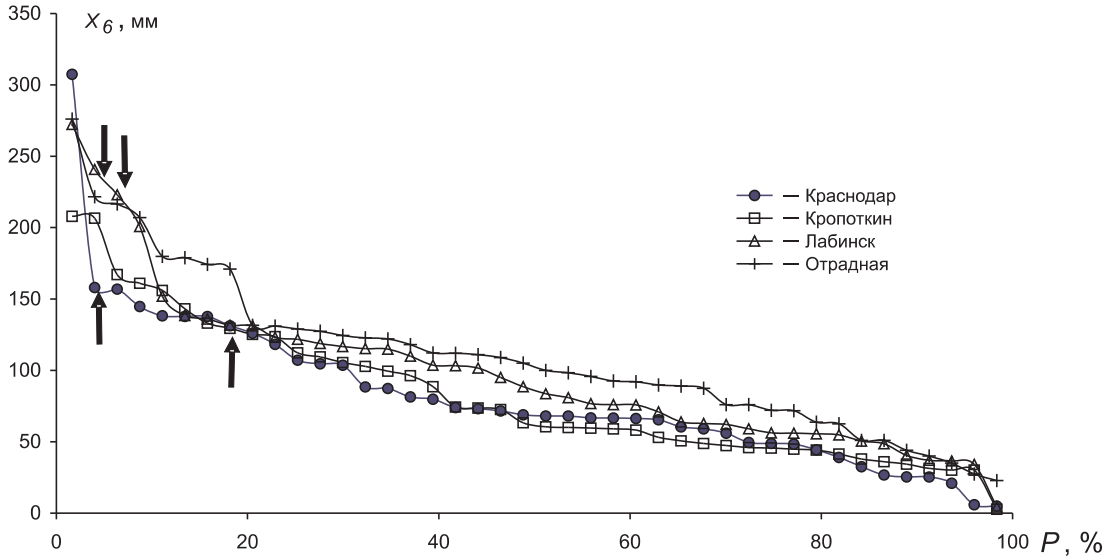



Рис. 1. Эмпирические кривые обеспеченности июньских сумм осадков ($X_6$) в некоторых пунктах Краснодарского края (стрелками указаны точки 2002 г.)

Сведения об осадках, выпавших 18–21 июня 2002 г. в Краснодарском крае и сопредельных районах

| Станция/пост | Осадки, мм | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 18 июня | 19 июня | 20 июня | 21 июня | Месячная норма |
| Анапа | 12 | 8 | 4 | 0 | 40 |
| Апшеронск | 30 | 8 | 37 | 20 | 107 |
| Армавир | 6 | 5 | 46 | 12 | 77 |
| Белая Глина | 64 | 33 | 10 | 0 | 64 |
| Геленджик | 101 | 1 | 7 | 0 | 48 |
| Горячий Ключ | 30 | 16 | 24 | 0 | 79 |
| Гузерипль | 16 | 3 | 71 | 28 | 104 |
| Зеленчукская | 4 | 6 | 100 | 41 | 127 |
| Каладжинская | 7 | 90 | 20 | 0 | 106 |
| Каменномостский | 18 | 14 | 71 | 19 | 124 |
| Каневская | 28 | 11 | 5 | 0 | 60 |
| Кореновск | 80 | 48 | 15 | 0 | 65 |
| Краснодар | 42 | 20 | 28 | 2 | 67 |
| Кропоткин | 18 | 42 | 20 | 0 | 66 |
| Кущевская | 49 | 46 | 3 | 0 | 60 |
| Лабинск | 7 | 16 | 62 | 16 | 87 |
| Нижегородская | 19 | 6 | 86 | 16 | 135 |
| Новороссийск | 31 | 5 | 16 | 0 | 54 |
| Отрадная | 9 | 5 | 76 | 7 | 86 |
| Псебай | 15 | 3 | 84 | 29 | 122 |
| Приморско-Ахтарск | 23 | 22 | 0,4 | 0 | 56 |
| Сочи | 52 | 1 | 6 | 0 | 89 |
| Староминская | 4 | 4 | 2 | 0 | 66 |
| Темрюк | 6 | 26 | 3 | 0 | 46 |
| Тихорецк | 22 | 37 | 16 | 1 | 68 |
| Удобная | 2 | 13 | 102 | 0 | 104 |
| Успенское | 2 | 18 | 50 | 2 | 73 |

ского края и Адыгеи. Плотность распределения пунктов наблюдений на исследуемой территории неравномерна: недостаточно освещена горная территория, где априори флуктуации осадков наиболее значительны, и равнинная северо-западная часть края в треугольнике Темрюк – Ейск – Кореновск. В последнем случае вряд ли недостаток станций существенно отразился на качестве моделей, поскольку в полосе Азовского побережья радиус корреляции осадкообразующих процессов с суточным временным разрешением оказался довольно большим. Включение в выборку пунктов за пределами края обусловлено достигаемым повышением точности интерполяции в исследуемом пространстве.

Выбор метода моделирования — ключевой момент исследования – определяется заданным набором критериев и условий осуществления преобразований над полями осадков. При выборе алгоритма учитываются три свойства: 1) точность, 2) простота, 3) универсальность (область применимости) алгоритма. Главным формальным критерием точности цифровых моделей при определении методов интерполяции и алгоритма расчета послужила ошибка интерполяции. Кроме того, во внимание принималось соответствие построенных карт развитию синоптической ситуации и представлениям о физической сущности процесса осадкообразования. Данный критерий можно назвать синоптической верификацией.

Выяснилось, что согласно выбранным критериям наибольшую точность дают алгоритмы RBF, IDW (из группы детерминированных) и Kriging. Вместе с тем следует отметить, что в случае крайней неоднородности, «мозаичности» поля осадков (например, 19 июня) попытки картографирования с использованием кригинга и детерминированных методов давали различающиеся картины полей, что говорило о необходимости тщательной подгонки той или иной модели путем минимизации ошибок. Изучение семивариограмм и ковариационных функций показало, что при высоких флуктуациях осадков предпочтительно пользоваться более простыми процедурами имитации полей, т.е. детерминированными приемами интерполяции.

Анализ качества интерполяции в поле осадков при имеющихся исходных данных с учетом свойств того или иного метода — отдельная задача, поиск решения которой должен быть предметом самостоятельного исследования. Мы исходили из того, что реальные флуктуации осадков в пространстве столь велики, что ошибки, связанные с погрешностью интерполяции при адекватном методе картографирования, имеют подчиненное значение. Были построены карты осадков за каждые сутки периода 18–21 июня.

Измеренные суточные величины осадков 18 июня варьировали на территории края от 1 мм (пос. Дегтяревский) до 101 мм (Геленджик). Для их распределения характерно наличие двух отчетливо выраженных полос с повышенными суммами осадков, образующих Т-образную структуру (рис. 2). Субмеридиональная полоса шириной 50–60 км со слоем выпавших осадков более 37 мм располагалась вдоль линии Кущевская – Кореновск – Геленджик. Перпендикулярно ей вдоль Черноморского побережья по линии Геленджик – Сочи расположилась другая полоса повышенного увлажнения. Такая структура поля осадков вполне соответствовала динамике холодного фронта 18 июня как по скорости, так и по направленности движения. Узкая зона выпадения сильных дождей вдоль побережья локализовалась районом мощных восходящих движений над акваторией Черного моря при проникновении сюда холодного воздуха. Обращает на себя внимание наличие «сухого» пятна в восточной оконечности края. Средний (в пересчете на площадь) слой осадков, выпавших 18 июня на территории края, оказался близок 27 мм. Эксперименты с выбором алгоритма интерполяции показали, что результаты применения детерминистического метода имеют меньшую ошибку, следовательно, при имеющихся данных предпочтительнее по сравнению с кригингом (рис. 2).

19 июня количество измеренных осадков на территории Краснодарского края колебалось от 0 (Ейск) до 90 мм (ст-ца Каладжинская). Полоса повышенных осадков вслед за холодным фронтом сместилась несколько восточнее и при этом не имела слитности (рис. 3), вероятно, в связи с наблюдавшимися процессами дивергенции воздушного потока в нижней тропосфере. Внутри этой полосы в предгорьях и горных котловинах северного склона (с. Черниговское, пос. Гузерипль, Псебай) отмечались локальные участки с относительно слабыми дождями. Черноморское побережье в отличие от предыдущих суток характеризовалось также слабыми осад-

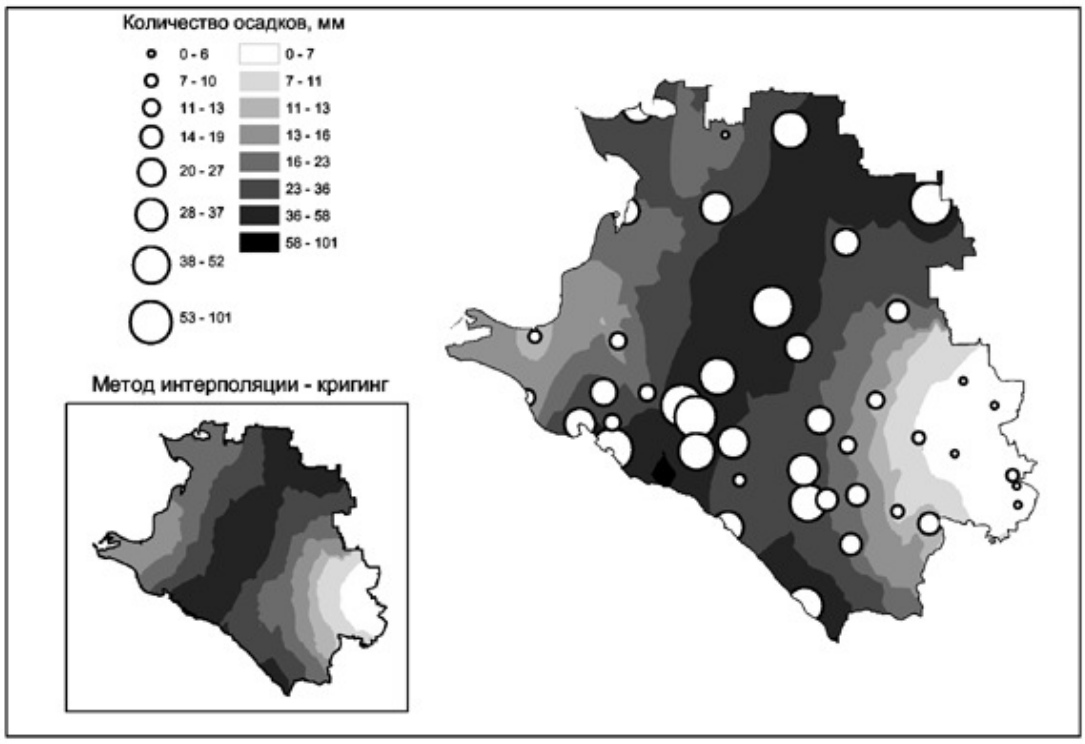



Рис. 2. Распределение осадков 18 июня 2002 г. (метод интерполяции — RBF)

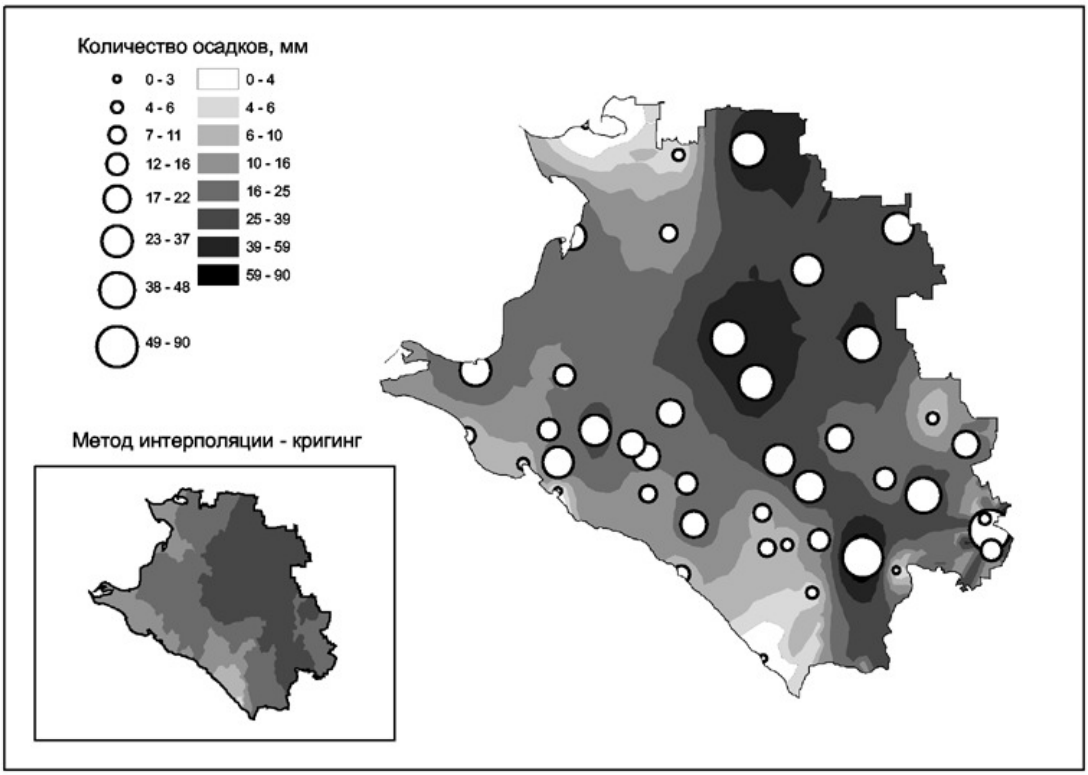



Рис. 3. Распределение осадков 19 июня 2002 г. (метод интерполяции — IDW)

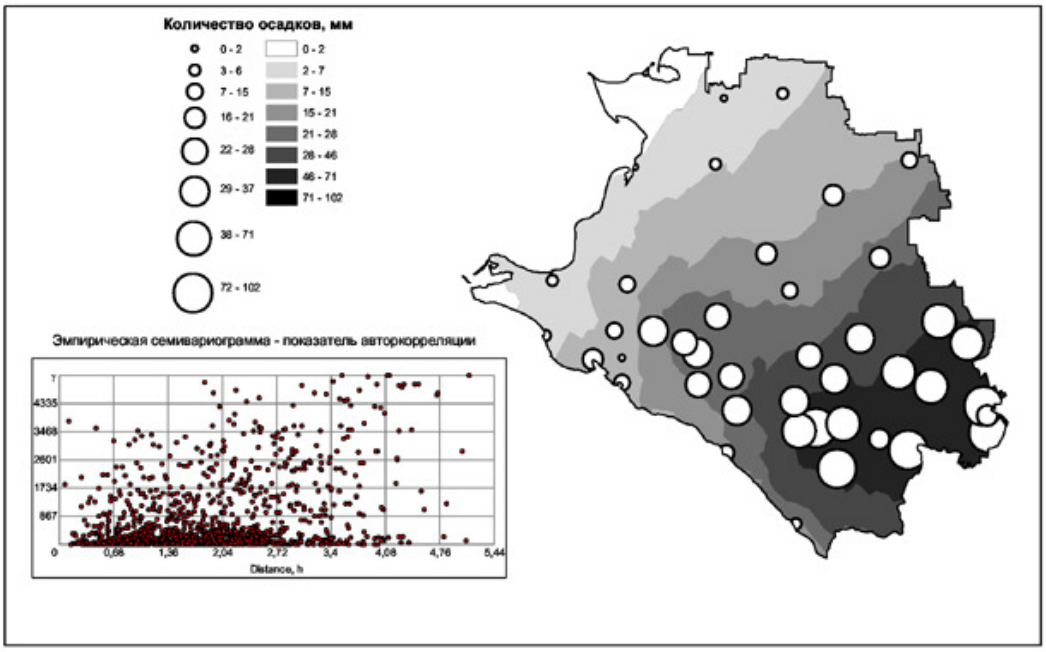



Рис. 4. Распределение осадков 20 июня 2002 г. (метод интерполяции — кригинг)

ками. Южная приазовская периферия края оказалась наименее увлажненной. Средний по краю слой осадков оказался меньше, чем в предыдущие сутки (около 20 мм).

Максимум осадков, судя по их среднему слою для территории края (примерно 29 мм), пришелся на 20 июня, но вместе с тем распределение их в масштабе края оказалось крайне неравномерным и асимметричным (рис. 4). Выяснилось, что при структуре поля с выраженной направленностью градиента (в данном случае субмеридиональным) метод кригинга дает хорошие результаты. На врезке (рис. 4) показана семивариограмма, дающая представление об автокорреляции — внутренней связности показателей осадков. Область сильных дождей сместилась в юго-восточную часть региона, где их образование было вызвано не только взаимодействием высотного стационарного циклона с холодным фронтом, но и вынужденным орографическим поднятием воздуха на северном макросклоне Кавказа. В связи с этим район повышенного осадкообразования не имел характерной фронтальной протяженности, а оказался компактным «пятном» с радиусом овала порядка 70 км. В течение суток внутри этого «пятна» выпало 40–50 мм осадков, а в некоторых точках — свыше 80 мм (пос. Псебай, ст-ца Удобная). Значительный орографический вклад в осадкообразование внесла зона средне- и низкогорий (Нижегородская, Черниговская, Каменномостский, Гузерипль, Бурное), где слой осадков 20 июня составил не менее 70 мм. Это послужило предпосылкой формирования паводочной волны в бассейнах рек Уруп, Лаба, Белая.

Кроме посуточной актуализации поля осадков интерес вызывает распределение в пространстве их накапливающихся величин за период 18–21 июня, определяющих сценарий паводка в бассейне р. Кубани в большей мере, нежели суточные значения. Логично было бы ожидать более выраженной территориальной однородности исследуемых характеристик, приобретаемой осредненными во времени величинами. Однако на карте с абсолютными значениями осадков (рис. 5) мы видим два отчетливых пятна в форме овалов — в центральной равнинной части (с субмеридионально вытянутой длинной осью) и вдоль северного склона в восточной части края (субширотно вытянутый овал). «Очаговое» распределение, вероятно, отражает обострение вклада двух главных осадкообразующих процессов: синоптического (в первом случае) и орографического (во втором). Осадкообразующая роль теплой акватории Черного моря на этой карте осталась невыраженной, поскольку механизм усиления конвекции в

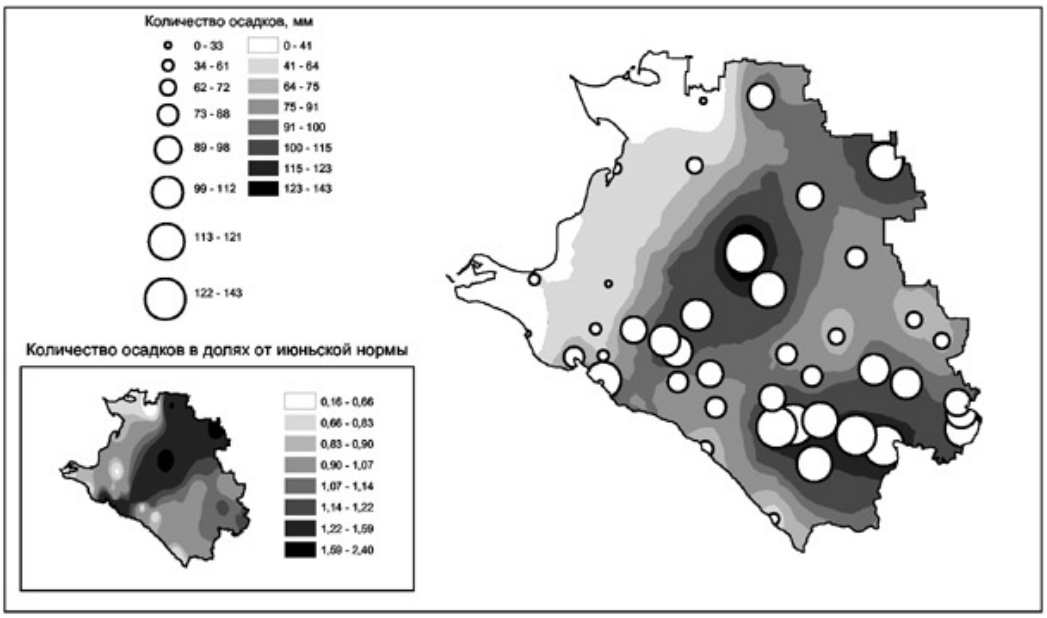



Рис. 5. Распределение суммы осадков, выпавших 17–21 июня 2002 г. (метод интерполяции — IDW)

прибрежной зоне активно действовал лишь 18 июня.

При выпадении обильных интенсивных осадков часто прибегают к сравнению их со среднемесячными значениями (нормами). Это бывает полезным и оправданным в случае оценки ситуации, выходящей за пределы локальной. Сопоставимые величины осадков в разных точках имеют неодинаковые географические последствия. Действительно, распределение суммы осадков за 18–21 июня в долях от месячной нормы имеет вид (рис. 5), отличный от распределения абсолютных значений. Контрастно выделяется субмеридиональный «след» повышенных осадков со значениями 1,14–2,4 от июньской нормы, имеющий форму суживающегося клина от Кущевской и Белой Глины на севере края до Новороссийска–Геленджика на юге. Очевидно, что этот влажный «след» оставил медленно продвигавшийся холодный фронт. Причем южная часть этого клина ограничивается западной оконечностью Кавказа: горное сооружение препятствовало развитию осадкообразования на южном склоне, оказавшемся в «дождевой» тени. Юго-восточная часть края, где собственно и происходило формирование паводка, имеет в целом меньшие нормированные показатели осадков (1,15 и менее). Однако с точки зрения паводочной ситуации данные показатели в границах рассматриваемого временного отрезка уже являются критическими.

Таким образом, геостатистический анализ полей осадков, предшествовавших катастрофическому паводку на территории Краснодарского края, позволил выявить полевые структуры в виде континуумов малой временной продолжительности, в которых доминирует какой-либо один интенсивный осадкообразующий процесс: 1) фронтальный и 2) конвективный. В свою очередь действовало два механизма усиления конвекции, запечатленных на картах в виде участков с высокими значениями осадков: а) вынужденное орографическое восхождение и б) усиление вертикального развития циркуляции в прибрежной зоне при контакте холодного воздуха с теплым водоемом. Одновременно проявил себя и экспозиционный эффект ослабления осадкообразования на подветренном (в данном случае южном) склоне Большого Кавказа. Крайне высокую пространственную неоднородность осадков на относительно малой территории Краснодарского края и Адыгеи иллюстрирует разброс нормированных сумм осадков за 18–21 июня 2002 г.: от 0,16 до 2,4 месячной нормы.

Подобные флуктуации исследуемого поля при ограниченном количестве исходных данных требуют разработки специальных приемов картографирования. Важным моментом

картографирования полей осадков служит выбор алгоритма интерполяции, и здесь не всегда метод кригинга дает приемлемые результаты. Построение и уточнение карт осадков обязательно должны сопровождаться не только расчетом ошибок интерполяции, но и верификацией метеорологическими условиями, т.е. синоптическими картами.

В заключение отметим: предложенные приемы анализа и картографирования, по нашему мнению, способны оперативно и адекватно отразить поля атмосферных осадков и прочих континуальных характеристик и существенно облегчить нахождение правильных управленческих решений в сложной гидрометеорологической ситуации.

### *Литература*


1. *Темникова Н. С.* Климат Северного Кавказа и прилежащих степей. Л.: ГИМИЗ, 1959. 368 с.
2. *Занина А. А.* Климат СССР. Вып. 2. Кавказ. Л.: ГИМИЗ, 1961. 290 с.
3. Справочник по климату СССР. Вып.13–15. Ч. IV. Л.: ГИМИЗ, 1968, 1970, 1969. 356 с., 424 с., 239 с.
4. *Иванченко Т. Е., Панов В. Д.* Распределение атмосферных осадков на Большом Кавказе // Сб. работ Ростовской ГМО. 1980. Вып. 18. С. 125–133.
5. *Погорелов А. В.* Осадки холодного полугодия на Большом Кавказе (распределение и изменчивость) // Природа. Общество. Человек: Вестн. Южно-Российского отделения Междунар. акад. наук высш. школы. 1999. №1 (12). С. 52–59.
6. *Погорелов А. В.* Снежный покров Большого Кавказа: опыт пространственно-временного анализа. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 287 с.
7. *Алибегова Д. А., Элизбарашвили Э. Ш.* Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах. Л.: ГИМИЗ, 1980. 136 с.
8. *Китаев Л. М., Хромова Т. Е.* Адекватность автоматизированных методов картографирования снежного покрова при анализе полей // Изв. РАН. Сер. геогр. 1998. № 3. С. 114–121.
9. *Кренке А. Н., Китаев Л. М., Качалин А. Б., Вегенер Т. Н.* Геоинформационные технологии в исследованиях сопряженности полей параметров снежного покрова, климата и гидрологических процессов // Материалы гляциологических исследований. 2000. Вып. 88. С. 60–64.
10. *Погорелов А. В., Гладской И. Б., Брусило В. А., Киселев Е. Н.* Анализ структуры метеорологических полей посредством геоинформационного моделирования // Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес. Образование: Тез. докл. X Всерос. форума. М.: ГИС-Ассоциация, 2003. С.29–31.
11. *Clark I. and Harper W.* Practical Geostatistics 2000. Ecosse North America, 2000. 342 p.
12. *Houlding S.* Practical Geostatistics: Modeling and Spatial Analysis. Springer-Verlag, 2000. 159 p.
13. *Isaaks E., Srivastava R. Mohan.* An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford: University Press, 1990. 561 p.
14. *Webster R., Oliver M.* Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, 2000. 275 p.


Статья поступила 7 октября 2003 г.
Кубанский государственный университет
Краснодарский краевой центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
© Погорелов А. В., Ткаченко Ю. Ю., Киселев Е. Н., Брусило В. А., 2004