

## К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАВОДКОВ И СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ БОЛЬШОГО КAVKAZA

С.Г.Сафаров

*Национальный Департамент по Гидрометеорологии  
Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики*

*AZ1154, Баку, просп. Г.Алиева, 50*

*E-mail: safarov53@mail.ru*

В статье рассматриваются основные принципы радиолокационной оценки атмосферных осадков, выпавших на водосборы паводкоопасных и селеопасных рек. На их основе с учетом характеристик водосборов и особенностей динамики развития грозоградовых процессов предлагаются новые способы краткосрочного прогнозирования таких явлений. Для этой цели предлагаются новые полуэмпирические формулы для оценки максимального расхода ожидаемого паводка, а также для прогнозирования вероятности возникновения селевых потоков.

### Введение

На территории Азербайджана селевые явления в основном имеют ливневый генезис, поэтому их прогноз непосредственно связан с прогнозом обильных осадков. Однако традиционные методы прогноза обильных осадков в большинстве случаев исходят из особенностей макромасштабной циркуляции и термодинамического состояния атмосферы, которые в основном носят фоновый характер, не учитывая при этом орографические особенности и характер подстилающей поверхности. Известно, что орографические неоднородности в течение довольно короткого времени могут кардинально изменить термодинамическое состояние атмосферы и вертикальную структуру приземного ветра, что в конечном итоге может привести к искажению составленных прогнозов. Также не учитываются тип и региональные особенности грозоградовых процессов. Если учесть, что на территории Азербайджана опасные явления ливневого происхождения в основном наблюдаются в горных и предгорных местностях, которые характеризуются наличием сложной подстилающей поверхности, то такие методы не позволяют надежно прогнозировать эти явления с указанием их места и времени возникновения.

В последние годы при прогнозировании атмосферных процессов над сложной подстилающей поверхностью широко приме-

няются различные гидродинамические и физико-статистические модели, из которых наиболее известной считается мезо-масштабная модель ММ-5 (*Mesoscale Model 5*). Подобные модели достаточно полно отражают влияние различных факторов на движение воздуха в атмосфере над сложной подстилающей поверхностью, но при расчетах с высоким пространственным разрешением требуют наличия мощных ЭВМ, и, кроме того, время реализации даже одного варианта с помощью этих моделей велико. В условиях сложной подстилающей поверхности даже мелкие особенности рельефа оказывают значительное влияние на атмосферные процессы, и использование сеток, позволяющих получить высокое разрешение, затрудняет проведение больших серий расчетов.

Таким образом, полный учет всех факторов, влияющих на атмосферные процессы и решение соответствующих уравнений, описывающих их, в настоящее время затруднительно даже с использованием современных вычислительных систем. Поэтому несомненный интерес представляют более простые и приемлемые методы исследования этих процессов, которые обеспечивали бы получение практически важных результатов, позволяющих разработать более надежные методы прогнозирования грозоградовых процессов и связанных с ними паводковых и селевых явлений.

### Методика исследования

С целью выявления факторов, влияющих на формирование селевых потоков и паводков, необходимо использование дистанционных методов и технологий наблюдения, которые позволили бы на больших расстояниях, в любое время и в любую погоду следить за накоплением обильных осадков на территории водосборов рек, порождающих паводки и селевые потоки. Современные автоматизированные системы управления радиолокационных наблюдений (АСУ-МРЛ) могут с успехом справляться с этой задачей.

Радиолокационное измерение интенсивности осадков основывается на их зависимости от значения радиолокационной отражаемости. Однако для различных видов осадков (дождь, град, смешанные осадки) эти зависимости имеют разные виды. Если учитывать, что в реальных ситуациях осадки, вызывающие паводки и селевые потоки, обычно являются смешанными, их интенсивность можно рассчитать по алгоритму (Абшаев и др., 2008):

$$\lg I_{\Sigma} = \begin{cases} \lg I_{\bar{A}} & \text{если } Z_{10} < 45 \text{ dbz}, \\ (1-k) \lg I_{\bar{A}} + k \lg I_{\bar{D}} & \text{если } 45 \leq Z_{10} \leq 65 \text{ dbz}, \\ \lg I_{\bar{D}} & \text{если } Z_{10} > 65 \text{ dbz} \end{cases} \quad (1)$$

где  $Z_{10}$  – радиолокационная отражаемость при длине волны 10 см,  $I_{\Sigma}$  – интенсивность смешанных осадков,  $I_{\bar{D}}$  – интенсивность дождевых осадков,  $I_{\bar{A}}$  – интенсивность градовых осадков, эмпирический коэффициент  $k = 0,04Z_{10} - 1,7$ .

Как видно из (1), вклад градовых осадков увеличивается с увеличением радиолокационной отражаемости. При  $Z_{10} > 45$  dbz вероятность градовых осадков ничтожно мала, при  $45 < Z_{10} < 65$  dbz она увеличивается. При  $Z_{10} > 65$  dbz градовые осадки вносят основной вклад.

При использовании АСУ-МРЛ слой выпавших осадков измеряется по алгоритму:

$$J = \sum_{i=1}^N I_i \Delta t_i \quad (2)$$

где  $I_i$  – интенсивность осадков в  $i$ -ом промежутке времени;  $\Delta t_i$  – интервалы между цикла-

ми радиолокационного обзора, равные для автоматизированного МРЛ-5 3,5 мин.;  $N$  – число радиолокационных циклов обзора пространства. Алгоритмы (1) и (2) введены в подпрограмму АСУ-МРЛ для измерения интенсивности и количества осадков любого вида.

Суммирование значения  $J$  по площади водосбора паводкоопасного или же селеопасного очага обеспечивает получение количества осадков  $J_1$ , формирующего сток:

$$J_1 = \sum_1^k \sum_1^j J_{kj} S_{kj} \quad (3)$$

где  $S_{kj}$  и  $J_{kj}$  – площадь и слой осадков в  $k$ -ом дискрете дальности и  $j$ -ом дискрете азимута водосбора селевого очага.

Результаты радиолокационного измерения наглядно отображаются на мониторе системы в виде картины распределения количества осадков на фоне карты местности, на которой указаны водосборы паводкоопасных и селеопасных рек (рис.).

Следует отметить, что в практической работе с АСУ-МРЛ удобно пользоваться средним слоем осадков, выпавшим на водосбор бассейна, который определяется отношением количества осадков, полученных из выражения (3), на площадь водосбора.

Радиолокационные наблюдения за облаками и осадками проводились на Акстафинском полигоне по активному воздействию на атмосферные процессы в радиусе 250 км с помощью АСУ-МРЛ, созданной на базе метеорадиолокатора МРЛ-5 с применением современного программно-технического комплекса. Эта система позволяет в реальном масштабе времени в любой точке пространства оперативно измерять интенсивность, количество и другие характеристики выпадающих осадков, также обеспечивает получение наиболее полных данных о наличии, местоположении, направлении и скорости смещения ливневых очагов.

### Результаты исследования

Анализ данных многолетних радиолокационных наблюдений показал, что в случае с ливневыми паводками, ожидаемый его максимальный расход может оцениваться в зависимости от степени превышения среднего

слоя осадков над его пороговым значением

$$Q = Q_0 \frac{J}{J_0} e^{-\beta t}, \quad (4)$$

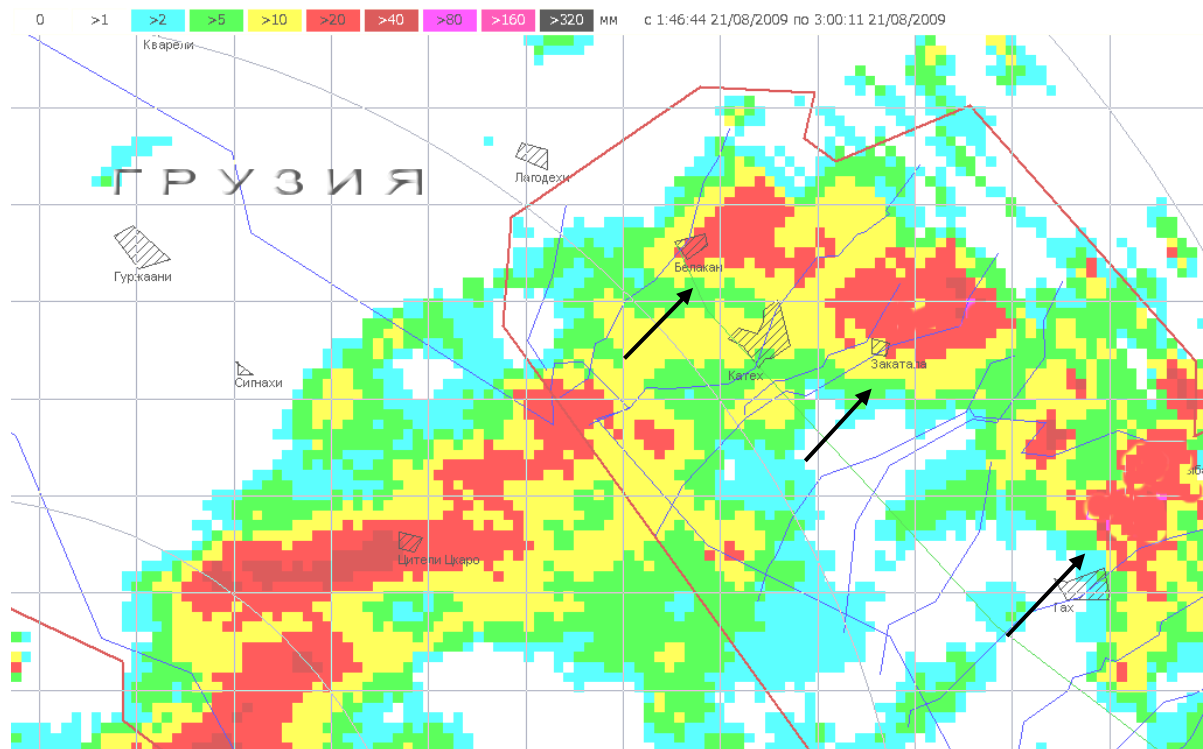
где  $Q$  – прогнозируемый максимальный расход паводка,  $Q_0$  – максимальный расход паводка при пороговом значении слоя осадков,  $J$  – средний слой осадков, выпавший на водосбор за текущий и предыдущие дни и рассчитываемый с помощью АСУ-МРЛ (Сафаров и Сафаров, 2008),  $J_0$  – минимальный (пороговый) слой осадков, при котором может формироваться паводок,  $\beta$  – коэффициент, зависящий от характеристик водосбора (площадь, средний уклон и т.д.),  $t$  – продолжительность осадков.

В зависимости от ряда физико-географических, геологических, орографических и др. факторов значения  $Q_0$ ,  $J_0$  и  $\beta$  в общем различны для разных водосборов и могут определяться по данным многолетних радиолокационных наблюдений. Если учитывать, что для конкретного водосбора значение  $Q_0/J_0$  практически не меняется, то выражение (4) можно записать в следующем виде:

$$Q = C J e^{-\beta t}, \quad (5)$$

где  $C = Q_0/J_0$ . Как видно из (5), ожидаемое значение максимального расхода паводка с увеличением среднего слоя осадков растет, а с увеличением продолжительности осадков уменьшается (при одном и том же количестве осадков).

Следует отметить, что формула (5) является полуэмпирической и приближенной. Она может быть уточнена с увеличением объема статистических данных радиолокационных и гидрологических наблюдений за паводками. При проверке данной формулы основной сложностью является измерение фактического значения максимального расхода паводка. Дело в том, что для большинства горных рек Большого и Малого Кавказа гидрологические наблюдения или не проводятся или же точное измерение максимального расхода паводка связано с различными трудностями. Однако, несмотря на эти трудности, радиолокационное измерение слоя осадков на водосборах позволяет с большой оправдываемостью прогнозировать ожидаемые паводки.



**Рис.** Радиолокационная картина распределения количества атмосферных осадков в зоне паводков и селевых потоков в ночь с 20 по 21 августа 2009 года

→ – направление перемещения зоны осадков

Радиолокационная оценка количества осадков также позволяет прогнозировать селевые явления ливневого происхождения со значительной заблаговременностью.

Анализ многолетних данных показывает, что на южном склоне Большого Кавказа наиболее мощные селевые потоки наблюдаются в июле-августе, когда длительный период без осадков способствует образованию достаточного количества рыхлообломочного материала, необходимого для формирования мощных структурных селевых потоков. Таким образом, в отличие от обычных паводков, наиболее мощные структурные селевые потоки в основном формируются в результате выпадения обильных ливневых осадков после длительного периода без осадков.

Как уже показано в (Сафаров, 2006), мощные селевые потоки формируются при определенном взаимном расположении вектора скорости зоны осадков и направления течения селеопасной реки. Установлено, что за период 2001-2009 гг. на южном склоне Большого Кавказа фактически все структурные селевые потоки наблюдались тогда, когда мощные зоны ливневых осадков перемещались ориентировочно в направлении против течения реки, в сторону горного хребта. Интенсивные осадки в селевых очагах создают благоприятные условия для развития селеформирующих процессов. С другой стороны, в результате перемещения зоны осадков по бассейну реки снизу вверх интенсивные осадки приводят к сильному увлажнению почвы и горных пород в нижней и средней части бассейна реки, ослабляя их прочность, что создает условие для дополнительного подпитывания селя за счет осыпающихся и разрушаемых склонов долин (Будагов и Сафаров, 2008). Таким образом, взаимодействие водного потока с рыхлообломочным материалом в верхней части бассейна приводит к лавинному вовлечению твердого материала в поток и многократному увеличению его расходных характеристик и плотности. Если учитывать, что на южном склоне Большого Кавказа ориентация русла селеопасных рек в основном направлена с северо-востока на юго-запад, то надвигающийся с юго-запада ливневый очаг с повышенным водосодержанием, с большой вероятностью, может вызвать селевой поток.

Учитывая вышеизложенное и результаты анализа материалов многолетних (2001-2009 гг.) радиолокационных наблюдений за селевыми процессами, вероятность возникновения селевого потока можно выразить следующей формулой:

$$P = K_1 K_2 |\cos \alpha|, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – угол между направлением перемещения ливневого очага и направлением течения реки,  $K_1$  – коэффициент заполнения водосбора реки слоем ливневых осадков, превышающим 10 мм,  $K_2$  – коэффициент заполнения селевого очага слоем осадков, превышающим 20 мм при  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  или же превышающим 40 мм при  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ . Коэффициенты заполнения водосбора и селевого очага рассчитываются с помощью выражений:

$$K_1 = \frac{S_{10}}{S_B}, \quad K_2 = \frac{S_{20}}{S_C} \quad \text{и} \quad 90^\circ < \alpha < 180^\circ \quad \text{или}$$

$$K_2 = \frac{S_{40}}{S_C} \quad \text{и} \quad 0^\circ < \alpha < 90^\circ,$$

где  $S_{10}$  – часть территории водосбора, покрытая слоем осадков, превышающим 10 мм,  $S_B$  – площадь водосбора,  $S_{20}$  или  $S_{40}$  – часть территории селевого очага, покрытая слоем осадков, превышающим 20 или 40 мм. Оба коэффициента рассчитываются по радиолокационной картине распределения количества осадков по территории (рис).

Следует отметить, что при радиолокационном наблюдении за атмосферными осадками в большинстве случаев возникает возможность прогнозировать селевые потоки с большей заблаговременностью, чем ливневые паводки. Дело в том, что в одном и то же русле скорость паводков и турбулентных потоков больше, чем структурных селевых потоков, так как с увеличением концентрации твердой массы в потоке его скорость уменьшается. С другой стороны, при формировании мощных структурных селевых потоков в результате образования частых заторов и запрудных озер средняя их скорость значительно сокращается. Образование заторов и запрудных озер, в свою очередь, также связано с наличием в селевой массе огромного количества крупнообломочного материала, деревьев и т.д. Из-за

уменьшения средней скорости селевой поток доходит до пункта прогноза с некоторым опозданием, что увеличивает заблаговременность радиолокационного прогноза этих явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- АБШАЕВ, М.Т., АБШАЕВ, А.М., ЛИЕВ, К.Б. 2008. Радиолокационный метод оповещения о ливневых паводках. Доклады Всероссийской конференции по селям, Издательство ЛКИ, Нальчик, Москва, 98-106.
- БУДАГОВ, Б.А., САФАРОВ, С.Г. 2008. Селевые явления на южном склоне Большого Кавказа и гидрометеорологические факторы их формирования. *Известия РАН, серия географическая*, 2, 116-121.
- САФАРОВ, С.Г. 2006. Влияние характера перемещения ливневых облаков на формирование селевых потоков. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 3, 108-113.
- САФАРОВ, С.Г., САФАРОВ, Э.С. 2009. Радиолокационный диагноз паводковой ситуации и прогноз селевых потоков ливневого генезиса. *Труды геогр. общества Азербайджана*, XIV, Баку, 404-409.

*Рецензент: к.г.н. М.С.Гасанов*