

II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2018»

Радиолокационное исследование различных механизмов образования селевых потоков ливневого генезиса на территории Азербайджана

С.Г. Сафаров

Центр радиометеорологии и аэрологии Национального Департамента по Гидрометеорологии Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики, AZ1154 Баку пр. Г.Алиева, 10, тел.: +7(994)5022501681, Факс: +7(994)12 5666215, E-mail: safarov53@mail.ru

В статье на основе радиолокационной оценки атмосферных осадков, выпавших на водосборы селеопасных рек., с учетом характеристик водосборов и особенностей динамики развития грозо-градовых процессов рассматриваются различные механизмы образования селевых потоков и выдвигаются новые способы для их краткосрочного прогнозирования .

In this article, based on the radar estimation of atmospheric precipitation falling on the catchments of mudflowy rivers, considering the characteristics of the catchments and the dynamics of the hail- storm processes, various mechanisms for the formation of mudflows are considered and new methods for their short-term forecasting are advanced.

Введение

На территории Азербайджана опасные явления ливневого происхождения, в том числе паводки и селевые потоки в основном наблюдаются в горных и предгорных местностях, которые характеризуются сложной подстилающей поверхностью. Прогноз таких явлений непосредственно связан с прогнозом обильных осадков. Однако для территорий со сложной орографией традиционные методы не позволяют надежно прогнозировать этих явлений, с указанием их места и времени возникновения. 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 селевых явлений. Также для выявления факторов, влияющих на формирование селевых потоков 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, а также выявить особенностей динамики развития грозоградовых процессов, порождающих паводков и селевых потоков. Современные автоматизированные системы управления радиолокационными наблюдениями (АСУ-МРЛ) могут с успехом справляться с этой задачей.

Методика исследования

Радиолокационные наблюдения за облаками и осадками проводились на Акстафинской, Гейгельской и Шамахинской радиометеорологических станциях Центра радиометеорологии и аэрологии в радиусе 250 км с помощью АСУ-МРЛ, созданной на базе метеорадиолокатора МРЛ-5, с применением соответствующего программно-технического комплекса. Эта система позволяет в реальном масштабе времени в любой точке пространства оперативно измерить интенсивность, количество и другие характеристики выпадающих осадков, также обеспечивает получение наиболее полных данных о наличии, местоположении, направлении и скорости смещения ливневых очагов.

Радиолокационное измерение интенсивности осадков основывается на их зависимость от значения радиолокационной отражаемости. Однако для различных видов осадков (дождь, град, смешанные осадки), эти зависимости имеют разные виды. Если

учесть, что в реальных ситуациях осадки, вызывающие паводки и селевые потоки, обычно являются смешанными, их интенсивность можно рассчитать по алгоритму [1]:

$$\lg I_{\Sigma} = \begin{cases} \lg I_{\text{Д}} & \text{при } Z_{10} < 44 \text{ dbz,} \\ (1 - k) \cdot \lg I_{\text{Д}} + k \cdot \lg I_{\text{Г}} & \text{при } 45 < Z_{10} \leq 65 \text{ dbz,} \\ \lg I_{\text{Г}} & \text{при } Z_{10} > 66 \text{ dbz,} \end{cases} \quad (1)$$

где Z_{10} – радиолокационная отражаемость при длине волны 10 см,

I_{Σ} – интенсивность смешанных осадков,

$I_{\text{Д}}$ – интенсивность дождевых осадков,

$I_{\text{Г}}$ – 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:

$$J = \sum_1^N I_i \Delta t_i \quad (2)$$

где I_i – интенсивность осадков в i – й промежутке времени;

Δt_i – интервалы между циклами 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.

В работе путем радиолокационной оценки количества осадков, оперативного анализа особенностей динамики развития мощных конвективных процессов, а также учета характеристик местности рассмотрены возможные механизмы формирования селевых потоков ливневого генезиса. Полученные результаты сравнивались с фактическими наземными данными.

Результаты исследования и их обсуждение

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 [2], мощные селевые потоки формируются при определенном взаимном расположении вектора скорости зоны осадков и направления течения селеопасной реки. Установлено, что за период 2001-2016 гг. на южном склоне Большого Кавказа большинство структурных селевых потоков наблюдалось 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 [3,4]. 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 учесть, что на юж-

ном склоне Большого Кавказа ориентация русла селеопасных рек в основном направлена с северо-востока на юго-запад, и их уклон достаточно большой, то надвигающийся с юго-запада ливневый очаг с повышенным водосодержанием, с большой вероятностью, может вызвать селевой поток.

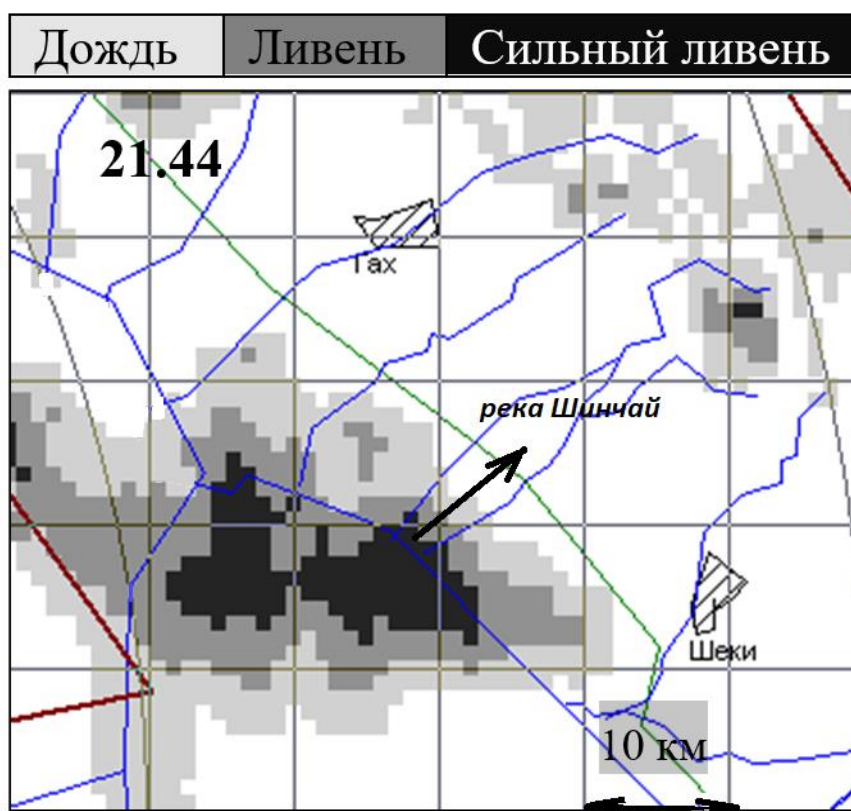


Рис. 1. Характер распространения ливневого процесса 26 июля 2004 года, приведшего к мощному селевому потоку на р. Шинчай по данным АСУ-МРЛ.
→ - направление перемещения зоны ливневых осадков

Учитывая вышеизложенных, и по результатам анализа материалов многолетних (2001-2016 гг.) радиолокационных наблюдений за селевыми процессами, вероятность возникновения селевого потока можно сформулировать следующим образом:

$$P = K_1 K_2 |\cos \alpha|, \quad (3)$$

где α – 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:

$$K_1 = S_{10}/S_B \quad \text{и} \quad K_2 = S_{20}/S_C \quad \text{или} \quad K_2 = S_{40}/S_C$$

где S_{10} – часть территории водосбора, покрытая слоем осадков, превышающий 10 мм, S_B – площадь водосбора,

S_{20} или S_{40} – часть территории селевого очага, покрытая слоем осадков, превышающий 20 или 40 мм.

Оба коэффициента рассчитываются по радиолокационной картине распределения количества осадков по территории.

Формула (3) показывает, что с увеличением абсолютной величины угла α от 0 до $\pm 90^\circ$ вероятность образования селевых потоков уменьшается, а при $\alpha = \pm 90^\circ$ они становятся невозможными из-за недостаточного для селеобразования количества осадков, выпавших в бассейн селеопасной реки.

Следует отметить, что при радиолокационном наблюдении за атмосферными осадками в большинстве случаев возникает возможность прогнозировать селевых потоков с большей заблаговременностью, чем ливневых паводков. Дело в том, что в одном и том 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, 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 таких явлений.

Однако анализ накопленного радиолокационного материала показывает, что на южном склоне Большого Кавказа вышеизложенный механизм образования структурных селевых потоков не является единственным.

Дело в том, что отдельные мощные селевые потоки образовались тогда, когда фактически неподвижная локальная грозоградовая ячейка образовалась непосредственно над верхней частью бассейна реки, где располагаются селевые очаги. В результате взаимодействия интенсивных ливневых осадков с рыхлообломочным материалом в селевых очагах, начинаются селеформирующие процессы. Однако, из-за того, что к этому времени в средней и нижней частях бассейна реки осадки отсутствуют, образовавшаяся густая селевая масса обычно быстро застывает, образуя мощные заторы в русле реки. Таким образом, в результате продолжающихся в верхней части бассейна реки обильных осадков и наличия заторов, образуются запрудные озера, при прорыве которых возникают сходы сильных грязекаменных селевых потоков. Подобные селевые потоки обычно характеризуются неожиданностью, и могут нанести значительный ущерб инфраструктуре территории, а в отдельных случаях сопровождаться человеческими жертвами. Таким образом, радиолокационное обнаружение неподвижных зон ливневых осадков над верхней частью бассейнов селеопасных рек может быть важным предиктором возникновения селевых потоков в ближайшие часы.

Как и в большинстве градоопасных регионах мира, наблюдаемые на территории Азербайджана грозоградовые процессы, по ячейковой структуре и по особенностям динамики развития, в основном делятся на одначейковые, многоячейковые и суперячейковые. Характерные особенности этих типов процессов более подробно изложены в [5]. Упорядоченные многоячейковые процессы, в свою очередь, делятся на нормальные и аномальные подтипы. В нормальных процессах из-за того, что новые конвективные ячейки образуются на правом фланге облачной системы, правее и чуть впереди относительно предыдущей ячейки, полосы осадков отдельных ячеек почти параллельны друг к другу. А при аномальных подтипах новые ячейки образуются сзади предыдущей ячейки, относительно их направления перемещения (рис. 2). При этом периодически возникающие сзади от предыдущей (относительно направления их перемещения) новые мощные конвективные ячейки, перемещаясь, практически одинаковыми траекториями (рис. 2), приводят к продолжительным и интенсивным ливням, которые иногда сопровождаются выпадением града. Нередко количество выпавших осадков составляет более 100 мм, которое в горных территориях приводит к водокаменным селевым потокам, а в равнинных местностях к опасным наводнениям.

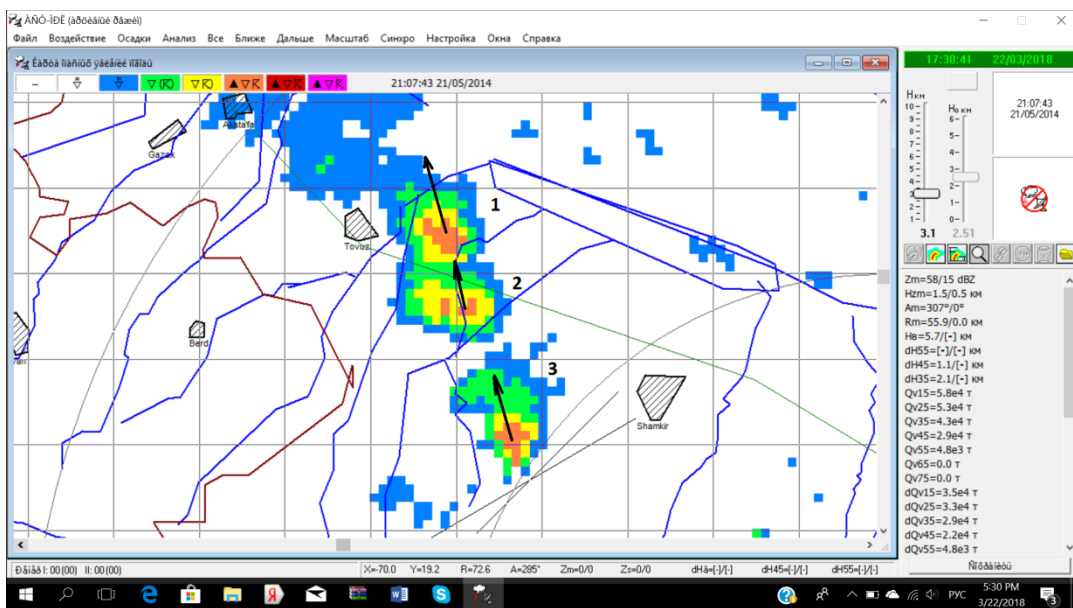


Рис. 2. Характер перемещения конвективных ячеек в аномально-упорядоченном многоячейковом грозоградовом процессе 21 мая 2014 г.
 → - направление перемещения конвективных ячеек;
 1, 2, 3 - порядковые номера конвективных ячеек.

Следует отметить, что такие грозоградовые процессы наиболее характерны для северной и северо-восточной части Малого Кавказа.

Таким образом, радиолокационное обнаружение мощных аномально-упорядоченных многоячейковых грозоградовых процессов в любой части территории Азербайджана с учетом особенностей местности может быть предиктором возникновения селевых потоков, паводков или же наводнений.

Литература

1. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Лиев К.Б. 2008. Радиолокационный метод оповещения о ливневых паводках. Доклады Всероссийской конференции по селям, Нальчик, М.: Издательство ЛКИ, с. 98-106.
2. Сафаров С.Г. 2006. Влияние характера перемещения ливневых облаков на формирование селевых потоков. Известия НАН Азербайджана, серия наук о Земле, 3, с. 108-113
3. Будагов Б.А., Сафаров С.Г. 2008. Селевые явления на южном склоне Большого Кавказа и гидрометеорологические факторы их формирования. Известия РАН, серия географическая, 2, с. 116-121.
4. Сафаров С.Г., Сафаров Э.С. 2009. Радиолокационный диагноз паводковой ситуации и прогноз селевых потоков ливневого генезиса. Труды геогр. общества Азербайджана, том XIV. Баку. с. 404-409.
5. Сафаров С.Г. Грозоградовые и селевые явления на территории Азербайджана и радиолокационные методы их прогнозирования/ Баку: «Элм», 2012, 292 с.