

УДК 556.011:551.311.21

**К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЛЕФОРМИРУЮЩИХ  
ДОЖДЕЙ**

Канд. физ.-мат. наук Т. С. Степанова  
Л. И. Бусалаева

*Предлагается система типизации ливней в горах, вызывающих ливневые паводки и селевые потоки, приведены примеры селеформирующих ливней в бассейне р. Малая Алматинка. Представлена пространственно-временная модель сильных осадков с учетом выделенных типов. Даны результаты моделирования ливней по 15-минутным интервалам времени.*

Из трех важнейших условий селеформирования – наличие крутых участков русел и ложбин, наличие отложений рыхлообломочных пород, воздействие водного импульса – именно последнее играет решающую роль в цепочке событий, предопределяющих быть или не быть селевому потоку. Генезис водного импульса в большинстве случаев определяет и генезис селя. Для дождевых селей – это ливень, вызывающий ливневый сток.

Как известно, главными факторами, влияющими на водный сток вообще, являются: осадки и испарение; типы почв и подпочв; уклон; растительный покров, морфометрические характеристики бассейнов. Когда рассматриваются селевые процессы, место действия которых, как правило, горные бассейны, то мы имеем дело с малыми водосборами с обнаженными или задернованными поверхностями, а испарение является величиной второго порядка значимости по сравнению с осадками. В статье представлены первые результаты работы по созданию модели осадков, могущих вызвать селевой поток. Не будем рассматривать природу осадкообразующих процессов вообще и географию ливней. Нас интересуют только ливни в горах – характер изменения слоя и интенсивности в пределах типовых

явлений. В связи с этим первое, что нужно сделать, — это классифицировать явление, что поможет в какой-то степени разобраться в его природе; и второе — найти математическое описание хода дождя, что позволит рассчитать ливневый сток, а далее сделать определенные выводы о возможности формирования селевого потока.

Для исследования использованы плювиограммы ливней, прошедших в высокогорье, так как очаги селеформирования находятся выше 2000 м над уровнем моря. Данные были взяты за май — август по следующим высокогорным дождемерным пунктам в селевом бассейне р. Малая Алматинка: Медеу (1530 м), Селестоковая (1700 м), Усть -Горельник (1943 м), Верхний Горельник (2272 м), Мынжилки (3017 м) за период 1937 - 1977 гг. Отбиралась в основном дожди слоем ( $H$ ) больше 30 мм. Эмпирическая кривая обеспеченности величины  $H$  для Заилийского Алатау по данным дождемерного пункта Селестоковая [7] приведена на рис.1

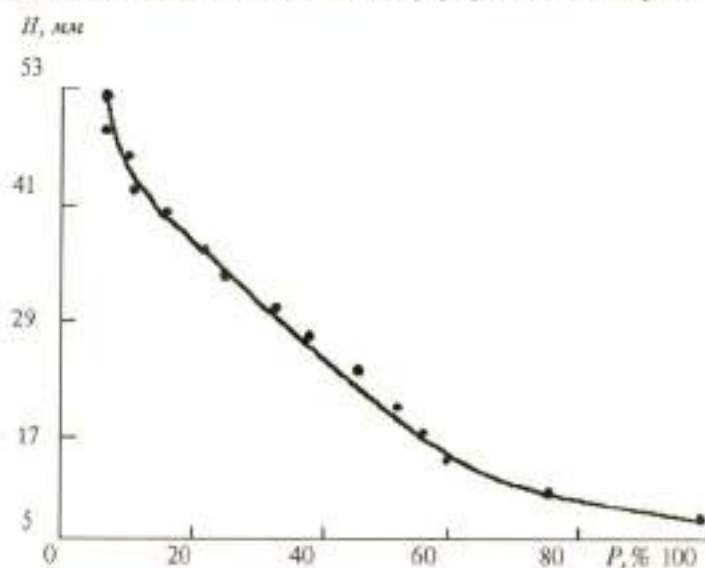


Рис. 1. Эмпирическая кривая обеспеченности значительных осадков в Заилийском Алатау

Анализ около ста плювиограмм позволил выделить три типа ливней, которые четко различаются (рис.2):

1-й тип характеризуется максимальной интенсивностью в первой трети дождя; график  $H(t)$  проходит над прямой  $H = Jt$  (рис.2, кривая 1), где  $J$  - средняя интенсивность за дождь;

2-й тип - ход дождя близок к равномерному или колеблется относительно среднего (рис.2, кривая 2);

3-й тип характеризуется максимальной интенсивностью во второй половине дождя - график  $H(t)$  проходит под прямой  $H = Jt$  (рис.2, кривая 3).

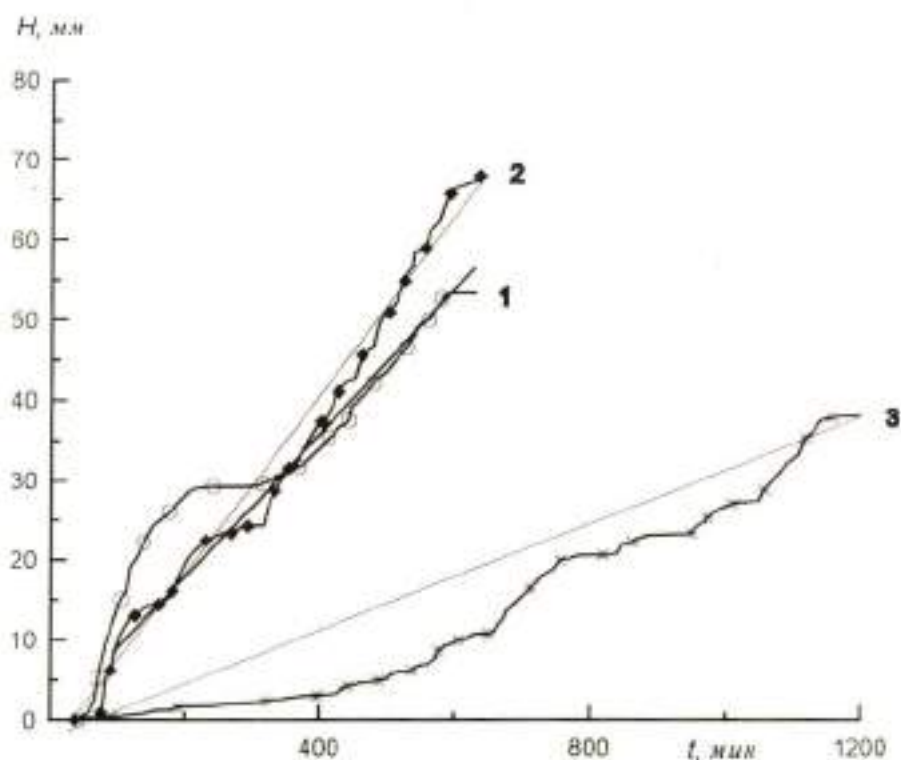


Рис. 2. Плuviограммы различных типов ливней в горах: 1 - 1-й тип (3.06.54, М Усть-Горельник); 2 - 2-й тип (14.06.53, М Верхний Горельник); 3 - 3-й тип (4.06.53, М Селестоковая)

В выборке из 35 паводкообразующих ливней 1-го типа оказалось 16, 2-го типа - 16, 3-го типа - 3. Характеристики некоторых из них приведены в табл.1, где величиной  $i_{max}$  обозначена максимальная интенсивность за 15 мин.

Характеристики некоторых паводкообразующих и селеформирующих дождей по данным М. Верхний Горельник

Дата	Продолжительность, ч	Слой Н, мм	$J$ , мм/мин	$j_{\text{ср}}$ , мм/мин	Тип дождя	Очаг селеформирования
25.05.41	1,6	70,3	0,7	1,30	1	Горельник
8.07.21	2,0	>100	0,6-0,8	2,00	3	Чимбулак Горельник
3.06.37	2,2	32,5	0,24	1,00	1	
30.07.57	3,0	30,0	0,16	0,33	1	
14.06.57	3,4	26,3	0,12	0,70	1	
16.05.47	5,2	53,3	0,15	1,10	1	Бутаковка
21.06.58	5,5	43,8	0,13	0,33	2	
7-8.08.73	7,5	37,5	0,09	0,30	2	
19.07.57	7,5	40,0	0,09	0,54	2	
8.08.70	7,6	42,0	0,09	0,73	2	
14.06.53	9,8	68,0	0,12	0,53	2	
3-4.06.54	9,8	53,3	0,10	0,50	1	Чабынсай Бутаковка
14-15.07.58	11,0	50,0	0,076	0,20	1	
29.06.77	11,0	57,2	0,09	0,60	2	
2-3.06.67	13,0	60,0	0,08	0,58	1	
20.08.77	14,3	59,1	0,06	0,30	1	
4.06.53	18,3	40,5	0,04	0,17	3	

Из этой таблицы видно, что к первому типу чаще всего относятся либо дожди большой длительности ( $T > 10$  ч) и малой средней интенсивности (0,06-0,08 мм/мин), либо малой длительности ( $T \leq 5$  ч) и относительно большой средней интенсивности ( $J \geq 0,13$  мм/мин); ко второму типу относятся, как правило, дожди, занимающие промежуточное положение между указанными подтипами первого типа; третий тип занимает обособленное положение: Все эти дожди сформировали паводки, а некоторые из них – сели. Причем, всем селеформирующим дождям предшествовали осадки накануне.

формирования ливней показывает, что ливни в горах, как правило,

вызываются мощными вторжениями арктических масс холодного воздуха в среду теплых воздушных масс [9, 12]. Иногда (возможно в случае дождей 3-го типа) холодному фронту предшествует прохождение фронта окклюзии. Температурный перепад на фронте составляет около  $10^{\circ}\text{C}$  в случае наиболее мощных ливней и в среднем  $4-5^{\circ}\text{C}$  – в остальных [9, 10].

Интересна структура ливней. На рис. 3 приведены гистограммы интенсивностей ливней выделенных типов.

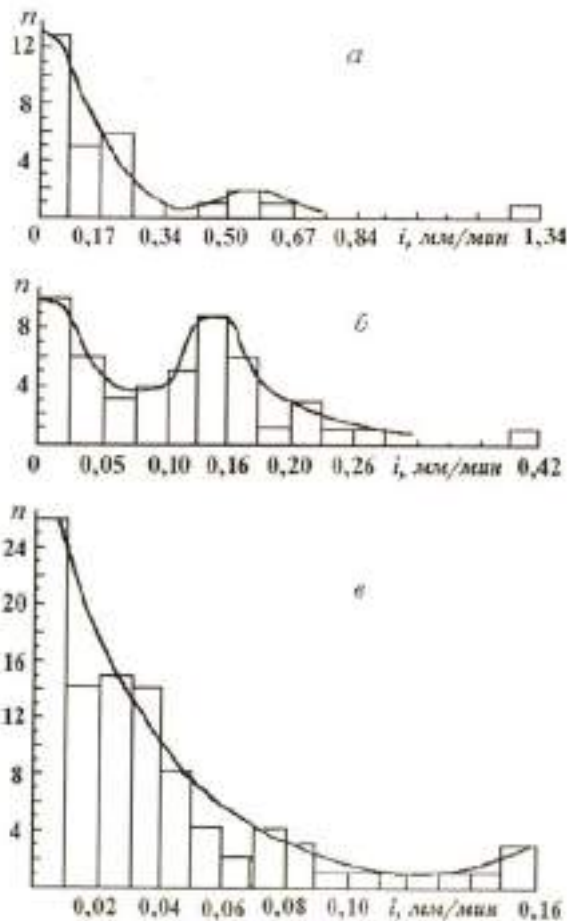


Рис. 3. Гистограммы интенсивностей различных типов ливней: а - 1-й тип (16.05.47, М Медве); б - 2-й тип (14.06.53, М Верхний Горельник); в - 3-й тип (4.06.53, М Верхний Горельник).

Все они двумодальны (как минимум), а соотношение между модами и их расположение определяют тип ливня. Гистограммы показывают, что типы ливней четко различаются и по плотности распределения вероятности и что это различие неслучайно; очевидно оно является отражением различия физических процессов в облаках, приводящих к выпадению осадков. Рассмотрим особенности селеформирующих ливней более подробно.

Дождь 8 июля 1921 г. вызвал селевую катастрофу в Заилийском Алатау. Период, предшествовавший катастрофе, отличался облачностью и обилием дождей. В горах число суток в этом году было: ясных - в июне - 2, в июле - 2; пасмурных - 8 и 10; дождливых - 20 и 19 соответственно. Алматинский краевед В. Д. Городецкий [5] приводит данные Н. К. Киселева, заведующего санаторием в Медве, который отметил 8 июля около 8 часов вечера, перед тем, как потоком снесло его дом, что сумма осадков составила уже 72 мм. Городецкий описывает метеорологическую ситуацию в этот день в городе так. К полудню прошел сильный грозовой дождь (назовем его первый); после полудня - короткий ливень с чрезвычайно крупными каплями (с пятаяк), вскоре опять короткий ливень с редким градом (2-й дождь); затем опять гроза с ливнями, два из них короткие и сильные (3-й дождь). Основным селеформирующим дождем надо считать третий. Виноградов Ю. Б. пишет: "...ливневое пятно, в центре которого слой осадков был не менее 100 мм и средняя интенсивность не ниже 2 мм/мин (известно, что первая селевая волна прошла через 45 минут после начала основного ливня), накрыло самые верховья притоков Малой Алматинки: Кимасар, Сарысай, Чимбулак, Чертово ущелье и Горельник" [4, с.12]. Предположив, что характер дождя в его центре тот же, что и в городе, попытаемся по описанию восстановить ход этого уникального дождя. За опорную точку возьмем момент формирования селея - 20 ч, когда сумма осадков составила не менее 100 мм (рис. 4). При этом средняя интенсивность за 45 минут до 20 часов составляет 1,5 мм/мин. Полученная Ю. Б. Виноградовым оценка средней интенсивности за это время - 2,0 мм/мин, формально неверна, так как вся сумма осадков за это время была использована на формирование селея, учитывая ощущения гляциолога Н.Н. Пальгова, застигнутого в этот день ливнем (в момент наибольшей интенсивности, продолжавшейся

3 - 4 мин, ливень представлял сплошной поток; ... невозможно было дышать), и данные таблицы Н. С. Дюрнбаума [8] (выборка из которой представлена ниже - табл.2), в которой зафиксирована максимальная минутная интенсивность 3,3 мм/мин, оценка средней интенсивности 2,0 мм/мин нам представляется достаточно правдоподобной.

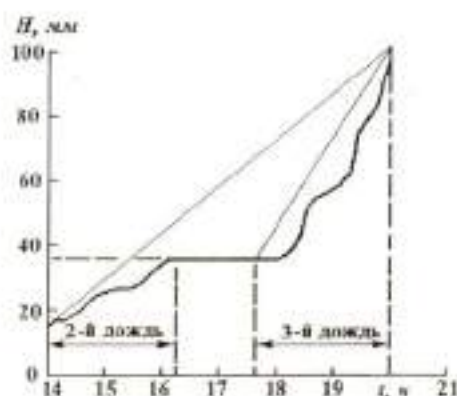


Рис. 4. Восстановленный ход селеформирующего ливня 8 июля 1921 г.

Таблица 2

Одноминутные интенсивности ливней в 1921г.  
по М. Алма-Ата ГМО

Дата	Максимальная интенсивность за 1 мин	Обеспеченность, %
15.06	3,50	1,40
8.07	3,30	5,68
3.07	2,50	7,95
25.07	1,80	14,80
30.07	1,50	19,80
1.07	1,20	30,70
30.07	1,20	33,00
26.07	1,00	39,80
16.06	0,90	55,70
27.06	0,66	78,40
4.07	0,65	80,70

Тогда надо считать, что сумма за дождь в целом была скореей всего больше, так как оценку длительности основного дожда к началу селя подвергать сомнению особых оснований нет. Третий, основной дождь, относится к 3-му типу ливней.

Дождь 25 мая 1941 г. (годовой суточный максимум осадков в Заилийском Алатау) вызвал грязекаменный селя в Горельнике, наносоводный селя по р. Малая Алматинка; пловниограммы по трем станциям показаны на рис.5. Этот дождь относится к 1-му типу - максимальная интенсивность в первой его трети, составляет 0,62 мм/мин в течение 5 минут; ему предшествовал дождь 23 мая:  $H = 20,1$  мм;  $T = 435$  мин,  $J = 0,05$  мм/мин.

Дождь 16 мая 1947 г., вызвавший грязекаменный селя в Бутаковке, наносоводный по р. М. Алматинке, обладает высокой средней интенсивностью ( $J = 0,15$  мм/мин); относится к первому типу ливней; это также - годовой суточный максимум осадков в Заилийском Алатау (см. табл. 1). Ему предшествовал дождь 15 мая:  $H = 22,1$  мм,  $T = 182$  мин,  $J = 0,12$  мм/мин. Наносоводные сели прошли также по Талгару, Иссыку и другим рекам Заилийского Алатау.

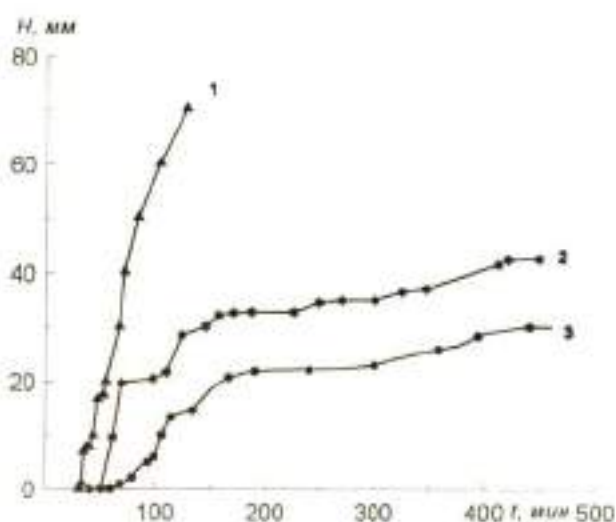


Рис.5. Пловниограммы ливня 23 мая 1941 г.: 1 - М. Горельник; 2 - М. Усть-Горельник; 3 - М. Медеу.



Дождь с 3 по 4 июня 1954 г. вызвал грязекаменный селя в Чабынсае, правом притоке р. Бутаковка, наносоводные сели по другим притокам и самой р. Малая Алматинка. Плувиограмма по станции Усть-Горельник приведена на рис.2, кривая 1: дождь имел высокую интенсивность в первой половине - 1-й тип; ему предшествовали осадки в ночь со 2 июня до 8 ч утра 3 июня, а также 1 июня; на дождемерном посту Бутаковка - устье Чабынская зарегистрирована сумма осадков 11,5 мм и 9,9 мм соответственно.

Из этих и других описаний можно сделать следующие выводы: селеформирующие осадки могут относиться к любому из 3-х типов ливней, но преимущественно к 1-му и 3-му; главная их отличительная черта:

большие слои -  $\geq 35-40$  мм,

высокая средняя интенсивность -  $\geq 0,1$  мм/мин,

неоднородность структуры дождя - интенсивность, соответствующая второй моде  $\geq 0,4$  мм/мин за 6-10 мин (см. рис.3а).

Для сравнения следует привести гистограмму дождя за 14 июня 1953 г., обладающего также высокой средней интенсивностью  $J = 0,12$  мм/мин и высоким слоем осадков  $H = 68$  мм (см. табл.1). Однако дождь не был селеформирующим - интенсивность, соответствующая второй моде гистограммы интенсивностей, близка к среднему значению (см. рис. 3б);

вторжение арктического воздуха происходит на фоне высоких местных температур воздуха, т.е. высокого расположения нулевой изотермы [9]. Это приводит к распространению осадков до 3000-4000 м над уровнем моря, где как раз расположены основные селевые очаги, с другой стороны - тем самым создаются условия для выпадения осадков на этих высотах в жидком виде;

селеформирующим дождям предшествуют осадки накануне или даже в течение нескольких предшествующих суток.

Несколько слов надо сказать о характерных площадях распространения ливней. В работе С. П. Кавецкого даются площади распространения паводкообразующих ливней для Заилийского Алатау и отмечаются следующие их особенности [10]. Общая площадь распространения колеблется в пределах от 3600 км<sup>2</sup> до 13100 км<sup>2</sup>, изогисеты вытянуты вдоль основного хребта. Площади больше 5000 км<sup>2</sup> наблюдаются в 14 случаях из 16. Центр паводкообразующего

дождя, как правило, располагается на высоте 1600 - 2000 м; иногда перемещается вверх до высоты 3000 - 3500 м (8 июля 1950 г., когда сформировался грязекаменный сель на р. Кумбель). Чаще всего наблюдается один центр дождя, но 8 июля 1950 г. было два и 25 мая 1942 г. - три. Центр дождя охватывает площади до 242 км<sup>2</sup>.

Вопрос моделирования интенсивности выпадения жидких осадков вообще и ливневых в частности в настоящее время в достаточной мере не проработан. Выбор схемы моделирования осадков зависит от целей моделирования. Если результатом моделирования является получение гидрографа стока, как со всего водосбора, так и с отдельных его участков, то модель осадков должна описывать их пространственно-временное распределение. Вторым важным критерием для выбора модели является наличие информации о моделируемом процессе: какой информацией мы располагаем, в каком объеме, насколько она надежна. Часто последний критерий является решающим для выбора модели.

В настоящее время существует достаточно обширный опыт моделирования выпадения осадков в отдельной точке и сложилось два стратегических направления решения задачи: использование теории стационарных случайных процессов или кластерной авторегрессионной модели.

Один из представителей первого направления, Ю. Б. Виноградов считает, что процесс выпадения дождей случаен, и что математическое ожидание интенсивности дождя за весь период непрерывного выпадения осадков является постоянной величиной [3]. Это дает возможность использовать хорошо разработанную теорию стационарных случайных процессов. Далее он рекомендует преобразовать исходный случайный процесс интенсивности выпадения осадков в соответствии со свойством эргодичности, что позволит принять гипотезу о линейной зависимости среднеквадратических отклонений и математических ожиданий элементарных процессов. Более того, он принимает (на основе эмпирических данных) равенство этих величин, что дает возможность применить экспоненциальный закон распределения интенсивности

Однако эти допущения не всегда можно принять, тем более в случае ливней. Например, допущение о постоянстве математического

ожидания величины  $i$  - условие стационарности и условие эргодичности - правомерны лишь для второго типа ливней (см. рис. 2, кривая 2), тогда как распределение интенсивности этих ливней далеко от экспоненциального (см. рис. 3 б). В случае же дождей первого и третьего типов допущение о стационарности неправомерно в принципе (см. рис. 2, кривые 1 и 3); распределение интенсивности также олично от экспоненциального (см. рис. 3а, в). Кроме того надо заметить, что анализ более 100 плювиограмм ливней в Заилийском Алатау показал, что процесс выпадения ливневых осадков по 1-му типу надо классифицировать во многих случаях больше как детерминистический, чем стохастический. Следовательно, воспользоваться теорией стационарных случайных процессов для описания интенсивности выпадения ливневых осадков в горах нельзя.

В основе второго подхода лежит представление о процессе выпадения дождей как колебании двух последовательностей случайных переменных. Первая из них включает в себя число событий выпадения осадков в пределах некоторого фиксированного периода времени, например месяца. Вторая последовательность описывает главные характеристики осадков, такие как слой, продолжительность и интенсивность. В соответствии с этой концепцией выделяются две основные части модели. Первая из них использует пуассоновский процесс для описания кластеров (групп) дождей и логарифмическое распределение вероятности для описания продолжительности и разделения дождей в пределах кластеров, предложенное Дж. Истоком и Л. Боермой [13]. Во второй части используется предложенная Р. Дж. Маршаллом [14,15] модель авторегрессии первого порядка для моделирования сумм осадков.

Пространственная структура полей осадков моделируется на основе анализа пространственно-корреляционных функций сумм осадков за определенный интервал времени [2]. Здесь трудность заключается в подборе формы изокоррелят и необходимости иметь достаточное количество плювиограмм реальных дождей для выбранного водосбора. Предложенная Р. Дж. Маршаллом пространственно-временная модель осадков достаточно хорошо соответствует поставленной задаче. В рамках последней концепции в Одесском гидрометеорологическом институте разработана

пространственно-временная модель осадков по 15-минутным интервалам времени [6], которая и была взята в качестве основы для моделирования поля осадков в бассейне р. Малая Алматинка.

В общем случае процесс моделирования осадков требует знания следующих закономерностей: распределение бездождных периодов; распределение продолжительности дождя; связь средней интенсивности дождя с его продолжительностью и обеспеченностью ( $\rho_*$ ); вероятность появления дождей различных типов; корреляционная функция, описывающая пространственную структуру ливней; авторегрессионная зависимость сумм осадков за заданный интервал времени внутри отдельного ливня; распределение средней скорости движения центра дождя и его направления.

На первом этапе моделирования первое и последнее требования не учитывались.

Для моделирования продолжительности дождей использовалось логарифмическое распределение вероятности, предложенное Дж. Истоком и Л. Боерсмой [13],

$$P\{T=m\} = lk^{m-1} \left( \frac{1}{m+q-1} - \frac{k}{m+q} \right),$$

где  $P_{\{T=m\}}$  - вероятность того, что продолжительность дождя  $T$  равна некоторому значению  $m$ ;  $l$ ,  $q$ ,  $k$  - параметры логарифмического распределения, вычисляемые с помощью следующих уравнений численными методами

$$\left[ \frac{N_r(q+r)}{N_s(q+s)} \right]^{\frac{1}{r-1}} = \left[ \frac{N_r(q+r)}{N_t(q+t)} \right]^{\frac{1}{r-1}},$$

$$k = \left[ \frac{N_r(q+r)}{N_s(q+s)} \right]^{\frac{1}{r-2}},$$

$$l = \frac{(q+r)N_r}{k},$$

где  $N_r$ ,  $N_s$ ,  $N_t$  - соответственно, накопленные частоты продолжительностей  $r=1$ ,  $s=4$ ,  $t=10$  ч.

Для расчета слоя дождя за 15 минут ( $a_i$ ) использовалось значение средней интенсивности, вычисляемое по формуле Г. А. Алексева [1]

$$i_s = \frac{A + B \lg\left(\frac{I \cdot 100}{P}\right)}{(T + I)^{0.5}},$$

$$a_i = i_s \cdot 15,$$

где  $A$  и  $B$  - постоянные для данной метеостанции ливневые параметры;  $P$  - обеспеченность в %.

Для учета внутрирядной корреляции внутри отдельных дождей использовалась авторегрессионная модель первого порядка для централизованной величины

$$Z_i = x_i - \mu,$$

где

$$\mu = \ln(a_i),$$

$x_i$  - приведенная к нормальному распределению величина 15-минутных сумм осадков.

Тогда

$$Z_i = \varphi Z_{i-1} + e_i,$$

где  $\varphi$  - коэффициент авторегрессии сумм осадков;  $e$  - случайный многомерный вектор, учитывающий пространственную корреляцию.

Элементы случайного вектора вычисляются по формуле:

$$e_i = \sum_{j=1}^i S_{ij} N_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, n,$$

где  $S_{ij}$  - элемент ковариационной треугольной матрицы;  $N_{ij}$  - нормально распределенное случайное число;  $n$  - количество точек, для которых проводится расчет.

Элементы ковариационной матрицы рассчитываются по формулам, приведенным в работе [6].

Для описания формы линий изокоррелят пространственно-корреляционной функции в модели использовалось предложенное Р. Дж. Маршаллом эллиптическое уравнение следующего вида

$$r(u, v) = h \exp\{-(a^2 u^2 + b^2 v^2)\},$$

где  $w$  и  $z$  - вращательные оси, определяемые как

$$w = u \sin \alpha + v \cos \alpha, \quad z = v \sin \alpha - u \cos \alpha.$$

Здесь  $\alpha$  представляет ориентацию изокоррелят;  $a$  и  $b$  - параметры, определяющие степень убывания корреляции по направлению малой основной оси эллипса;  $u$  и  $v$  - связанные координаты, определяемые как

$$u_0 = u_i - u_j, \quad v_0 = v_i - v_j$$

для точек с координатами  $(u_i, v_i)$  и  $(u_j, v_j)$ .

Базовая модель позволяет получать, варьируя начальные условия, первые два типа дождя. Так, если начальные условия принимаются равными нулю, получаем для достаточно длительных дождей постепенное возрастание интенсивности до среднего значения и затем некоторые колебания относительно среднего, что соответствует 2-му типу дождя по приведенной выше классификации. При начальных условиях, не равных нулю, картина резко меняется. Наблюдается резкое возрастание интенсивности от нуля до некоторого значения, превышающего среднюю интенсивность, а затем интенсивность снижается ниже среднего значения и колеблется, то достигая, то падая ниже расчетного значения средней интенсивности, что для коротких дождей неплохо соответствует 1-му типу. Большую трудность представляет группа дождей 3-го типа, характеризующаяся значительными колебаниями 15-минутных интенсивностей относительно средней расчетной интенсивности, особенно во второй половине дождя. Однако и эта задача достаточно легко решается, если рассматривать дождь 3-го типа как комбинацию дождей 1-го и 2-го типов. Таким образом, все многообразие дождей в изучаемом бассейне можно получить, используя данные табл.1 и датчик случайных чисел.

Учитывая все вышесказанное, сам процесс моделирования можно представить в виде последовательности следующих действий:

моделируется продолжительность дождя  $T_p$ ;

вычисляется средняя расчетная интенсивность дождя в зависимости от  $T_p$  и обеспеченности  $p_R$ ;

выбирается случайное число  $r$ ;

определяется тип дождя в зависимости от  $T_p$ ;

задаются начальные условия в зависимости от типа дождя;

моделируется временная последовательность логтрансформированных 15-минутных сумм осадков для данного дождя  $x_i$ ;

проводится обратное преобразование смоделированных осадков с помощью уравнения

$$y_i = \exp(x_i) - 0,01,$$

где  $y_i$  - преобразованная сумма осадков;

рассчитываются характеристики смоделированного дождя по бассейну.

Для моделирования следующего дождя последовательность действий повторяется.

Для определения параметров пространственно-временной модели ливневых осадков для бассейна р. Малая Алматинка (площадь водосбора  $F = 120 \text{ км}^2$ ) использовались данные, полученные в результате анализа плювиограмм для семи постов в бассейне этой реки за период с мая по август 1940 - 1963 гг. Выбирались дожди со слоем более 30 мм, способные вызвать селеобразующие паводки. Данные плювиограмм выбранных станций путем логарифмирования приводились к нормальному распределению. Предполагалось, что параметры модели постоянны в течение всего ливневого периода с мая по август. Для нормализованных данных определялись статистические параметры: среднее  $\mu$  и стандартное отклонение  $\sigma$ .

Параметры  $l$ ,  $q$ ,  $k$  для моделирования продолжительностей дождей определялись численными методами, после определения по данным наблюдений значений  $N_a$ ,  $N_b$ ,  $N_c$ . Параметры  $h$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  и коэффициент авторегрессии  $\phi$  определялись методом наименьших квадратов. Ливневые региональные параметры А и В постоянны и для Заилийского Алатау приведены в работе [11]. Значения параметров модели приведены в табл.3.

Для идентификации параметров модели был разработан пакет программ для ПК, позволяющий заносить данные плювиограмм дождей для разных станций, рассчитывать, используя эти плювиограммы, суммы осадков за различные интервалы времени, рассчитывать параметры модели по уже занесенным данным, дополнять вновь появившимися данными, просматривать графики

хода дождей по одной станции или совмещенные графики по нескольким станциям.

Таблица 3

Значения параметров модели осадков для водосбора р. Малая Алматинка

$l$	$q$	$k$	$h$	$a$	$b$	$\alpha$	$\varphi$	$A$	$B$
1,795	1,649	0,773	0,883	0,636	0,037	2,085	0,676	3,25	3,21

Для имитационного моделирования дождей с помощью представленной выше модели был разработан пакет программ PLUIE на языке TURBO PASCAL, который позволяет генерировать с помощью метода Монте-Карло ливневые дожди в виде рядов 15-минутных сумм осадков различной обеспеченности. Моделирование осадков осуществляется равномерно по водосбору в узлах прямоугольной решетки  $M \times N$ . Каждый прямоугольник представляет собой участок земли размером  $1,5 \times 1,9 \text{ км}^2$ . Программа VODOSBOR позволяет определять количество осадков, выпавших на тот или иной участок водосбора как за каждую 15-минутку, так и за весь дождь. Графики изменения 15-минутных слоев смоделированных дождей двух типов показаны на рис. 6.

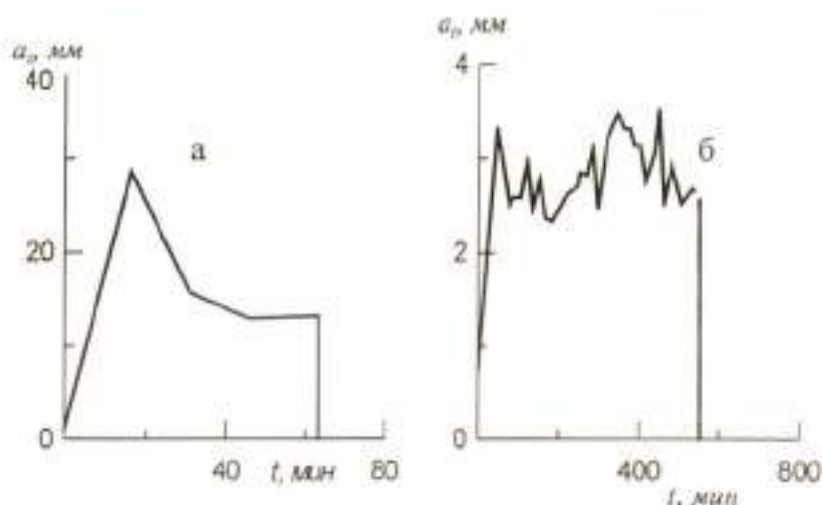


Рис. 6. Результаты моделирования ливней по программе PLUIE: а, б - изменение 15-минутных слоев дождей 1 и 2 типа соответственно.



Специальный дополнительный пакет GRAFORAC позволяет представить смоделированный дождь в виде карты изолиний сумм осадков тоже как за каждую его 15-минутку, так и за весь дождь. Пример такой карты приведен на рис. 7.

Из приведенных рисунков видно, что результаты моделирования вполне правдоподобны. Ведь, как сказал великий Монтень в своих "Опытах", поскольку в альманахах о предсказаниях можно найти все, что угодно, в них, очевидно, наряду с ложью должна содержаться и правда.

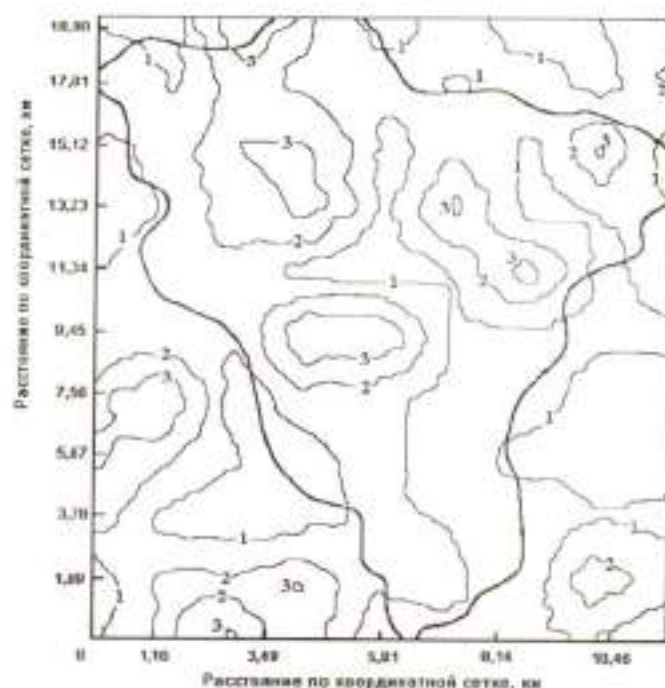


Рис. 7. Карта изолиний сумм осадков дождя 1-го типа:  
1 - 53,35 мм; 2 - 88,31 мм; 3 - 123,28 мм.

Дальнейшие разработки, связанные с моделью ливневых осадков, должны идти по пути учета скорости и направления движения центра дождя. Это достаточно сложная задача, её решение требует учета влияния скорости и направления движения центра дождя на паводочный сток.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А. Метод установления зависимости между интенсивностью, продолжительностью и повторяемостью ливней // Тр. НИИГУГМС. - 1941. - Серия IV, вып. I. - С. 13 - 27.
2. Алибегова Ж. Д. Пространственная структура поля сумм осадков, осредненных по 15-минутным интервалам // Тр. ГГО. - 1972. - Вып. 280. - С. 195 - 208.
3. Виноградов Ю. Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана // Тр. КазНИГМИ. - 1967. - Вып. 28. - 262 с.
4. Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках. - Л.: Гидрометеониздат, 1980. - 144 с.
5. Городецкий В. Д. Причины Алматинской катастрофы 8 июля 1921 г. - Алма-Ата, 1936. - 38 с.
6. Данг Нгок Тинь. Пространственно-временная модель дождевых осадков / Одесский гидрометеорологический институт. - Одесса, 1991. - 8 с. - Деп. в ИЦ ВНИИГМИ - МЦД 06.11.91, № 1100.
7. Дейчева В. Г. Некоторые характеристики значительных осадков на территории Казахской ССР // Тр. КазНИГМИ. - 1977. - Вып. 63. - С. 62 - 74.
8. Дюрнбаум Н. С. К защите г.Алма-Ата от селевых потоков // Коммунистическое строительство. - 1939. - № 8 - 9.
9. Есеркепова Т. А. Синоптические процессы, предшествовавшие селевым паводкам ливневого происхождения в бассейнах Большой и Малой Алматинок // Тр. КазНИГМИ. - 1967. - Вып. 29. - С. 26 - 35.
10. Кавецкий С. П. Сели в Заилийском Алатау. - Рукопись ГМФ Инв. № 1265, Алма-Ата, 1950. - 201 с.
11. Самохин А. А., Соловьева Н. Н., Догановский А. М. Практикум по гидрологии. - Л.: Гидрометеониздат, 1980. - С. 64 - 75.
12. Ширкина Н. А. Анализ синоптических условий ливней на Европейской территории СССР // Тр. ГГИ. - 1947. - Вып. 1(55). - С. 75 - 105.
13. Istok J. D., Boersma L. A stochastic cluster model for hourly

- precipitation data // J. Hydrol. - 1989. - Vol. 06, № 4. - P. 257 - 285.
14. Marshall R. J. A spatial temporal model of storm rainfall // J. Hydrol. - 1983. - Vol. 62. - P. 53 - 62.
15. Marshall R. J. The estimation and distribution of storm movement and structure using a correlation analysis technique and raingange data // J. Hydrol. - 1980. - Vol. 48. - P. 19 - 39.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

### ЛАЙЛЫ-ТАСҚЫНДАРДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРАТЫН ЖАУЫНДАРДЫ ҮЛГІЛЕУ СҰРАУЫНА

Физ.-мат.ғ. канд.

Т. С. Степанова  
Л. И. Бусалаева

Тауларда су және лайлы-тасқындарды қоздыратын нөсерлерді типке келтіру жүйесі ұсынылған және Кіші Алматы өзенінің су алқабында лайлы-тасқындарды қалыптастыратын нөсерлердің мысалдары келтірілген. Күшті жауындардың бөліс типтерінің уақыттылы-кеңістік үлгілері келтірілген. Нөсерлердің 15 минут арасында күшейе түсуінің үлгілеу нәтижелері берілген.