

УДК 551.311.8:551.583 (235.216):627.141.1

Доктор геогр. наук Б.С. Степанов *

Доктор техн. наук Р.К. Яфязова *

ЗАЩИТА ОТ СЕЛЕЙ. ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ СЕЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ

*СЕЛИ, ЗАЩИТА, АКТИВНОСТЬ, ПЛОТИНА, ОТЛОЖЕНИЯ,
НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ*

Приведены результаты анализа современного состояния оценки селевой активности на северном склоне Иле Алатау. Подчеркивается необходимость учета изменения климатического фактора селеформирования при разработке и реализации стратегии защиты от селей.

Установлено, что главным фактором, определяющим селевую активность на северном склоне Иле Алатау, является климатический [6, 13, 15, 16, 18]. Мощные сели дождевого и гляциального генезисов, отложение которых происходит на конусах выноса, расположенных в предгорной зоне, формируются только в условиях климата, близкого (и более теплого) к климату 20 века. В ледниковые эпохи небольшие сели отлагаются в горных долинах.

Потепление климата, обусловившее окончание Малого ледникового периода в середине 19 века, привело к увеличению селевой активности в описываемом регионе. Возрастал, по мере освоения горных и предгорных районов, и селевой риск. Необходимость в проведении мероприятий по снижению ущерба, наносимого селями в Казахстане, в полной мере была осознана после прохождения селя 1921 г., разрушившего восточную часть г. Верного (Алматы) и приведшего к гибели более 500 человек.

Сель 1921 г. возник в результате выпадения больших по количеству и интенсивности жидких осадков на высотах 1500...3500 м. Поскольку в те времена озера на моренах и ледниках Иле Алатау только зарождались и их прорыв не был опасным, а сель представлялся мощным водным потоком, транспортирующим большое количество наносов, считалось, что защита от селей может быть обеспечена задержанием наносов инженерными сооружениями и пропуском водного паводка через городскую территорию по заранее созданным каналам.

* Казгидромет, г. Алматы

Гидрологическая оценка вероятности возникновения дождевых паводков с объемом и расходом, близкими к таковым селя 1921 г., осуществленная в 30...40-ых годах, показала, что подобные паводки могут формироваться в среднем один раз в 10000 лет. Столь редкая расчетная повторяемость селей стала причиной потери интереса к защите г. Алматы от селей более чем на 30 лет.

К середине 20 века многие озера моренно-ледниковых комплексов стали, в случае их прорыва и трансформации водных потоков в сели, представлять реальную опасность для населенных пунктов, расположенных у подножия гор Иле Алатау.

Гляциальные сели 1956 г. (бассейн р. Киши Алматы) и 1958 г. (бассейн р. Есик), в силу незначительности ущерба, нанесенного ими, остались практически незамеченными. И только селя 1963 г. на р. Есик, во время которого погибли десятки человек, был нанесен большой экономический ущерб, заставил задуматься проектировщиков и директивные органы: что можно ожидать, если подобный селя сформируется в бассейнах рек Киши или Улькен Алматы? Так, после Есикской катастрофы проблема защиты столицы республики от селей приобрела первостепенное значение.

Результаты обследования следов прохождения гляциальных селей 1958 и 1963 гг. в бассейне р. Есик, селя 1956 г. в бассейне р. Киши Алматы свидетельствовали о том, что основная часть объема селей (около 80...90 %) представляет собой не воду, как считалось ранее, а обломки горных пород, различающихся по размеру в миллионы раз. Столь незначительное содержание воды в плотной селевой массе говорило о том, что паводки, способные трансформироваться в катастрофические сели, могут формироваться в условиях климата 20 века в десятки раз чаще, чем считалось ранее.

Осознание опасности разрушения селем г. Алматы – столицы Казахстана, ускорило строительство плотины в урочище Медеу, спасшей город в 1973 г. от селя, возникшего вследствие прорыва озера на леднике Туюксу. После этого селя проектная емкость селехранилища (путем наращивания высоты плотины) была увеличена с 6,2 до 12,6 млн. м³. В последующие годы проектировались и сооружались плотины в бассейнах рек Улькен Алматы, Каскелен, Есик, Узынкаргалы и Каргалинка. Последняя плотина возведена в бассейне р. Талгар. Эти плотины имели различную конструкцию и создавали существенно отличающиеся по емкости селехранилища: 14,5 млн. м³ – на р. Улькен Алматы и 0,75 млн. м³ – на р. Узынкаргалы.

Руководящими документами при проектировании селезащитных сооружений (основные проекты разработаны Казахским филиалом Гидропроекта)

служили: «Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений» СН 518-79 и «Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений» П-814-84. В основу Рекомендаций П-814-84, разработанных в развитие Инструкции СН 518-79, были положены результаты исследований, выполнявшихся по заданию программы ГКНТ 08.02 «Разработать новые методы расчета, прогноза и моделирования селей» (КазНИИ Госкомгидромета СССР, 1980), методические рекомендации ГрузНИИГИМ, АрмНИИВ-ПИГ, ВНПО «Союзводоавтоматика», результаты научно-исследовательских работ институтов Госкомгидромета, Узгипроводхоза, Минводхоза СССР, Минэнерго СССР и других организаций.

В соответствии с Рекомендациями П-814-84 при проектировании селезадерживающих плотин, разрушение которых угрожает катастрофическими последствиями, необходимо было осуществлять проверку плотин на воздействие селевого потока, вызванного паводком с вероятностью превышения 0,01 %. При этом следовало предусматривать устройство поверхностных сбросных сооружений, обеспечивающих сброс избыточного (по сравнению с расчетным) объема селевого потока, или повышение отметки гребня плотины, обеспечивающее аккумуляцию всего объема потока.

В настоящее время мероприятия по защите от селей в Казахстане регламентируются нормами и правилами, представляющими собой усеченные варианты СНиП, разработанные в СССР в 80-е годы и подвергавшиеся критике еще в прошлом веке. В них не учтен опыт проектирования, строительства и эксплуатации селезащитных сооружений последних десятилетий, а также проблемы, обусловленные изменением климата.

О необходимости создания нормативных документов (СНиП), базирующихся на последних достижениях науки и мировом опыте эксплуатации селезащитных сооружений, на протяжении десятилетий писали ведущие специалисты СНГ в области селей:

«Нельзя признать удовлетворительным и положение с разработкой и изданием необходимых нормативных документов» [14].

«Создание нормативных документов для противоселевого проектирования следует считать задачей номер один...» [11].

«До сих пор у нас нет нормативных документов по расчетам параметров возможных селей, ущерба от стихийных явлений и эффективности защитных работ» [12].

«Существенным образом затрудняет разработку рекомендаций защитных мер и проектирование инженерных сооружений отсутствие необходимой расчетной базы и нормативных документов...» [3].

«Защита населенных пунктов и объектов хозяйственной деятельности от селей на территории Республики Казахстан осуществляется на базе научных представлений, господствовавших во второй трети прошлого столетия, впервые разработанных норм и правил проектирования противоселевых защитных сооружений, социально-экономического положения в стране. За последнюю четверть прошлого века в этой базе, за исключением, пожалуй, норм и правил строительного проектирования, произошли коренные изменения. Это обстоятельство обусловило необходимость оценки современного состояния и перспектив противоселевой защиты региона, так как последствия катастроф селевого генезиса могут оказать крайне негативное влияние на развитие страны» [8].

Крупнейшим недостатком действующих нормативных документов является отсутствие требований о разработке проектной документации, регламентирующей мероприятия, проводимые после заполнения селехранилищ. Заполненное селехранилище становится потенциальным очагом селеформирования, расположенным, как правило, в непосредственной близости от защищаемых объектов. Опыт эксплуатации сквозной плотины на р. Герхожансу, призванной защитить г. Тырнауз (Россия, Северный Кавказ) и разрушенной селом 1999 г. (рис.) [4], не нашел отражения в нормативных документах Казахстана. Подобная плотина построена для защиты от селей г. Каскелена и т.д.



Рис. Плотина на р. Герхожансу (Россия, Северный Кавказ), разрушенная селевым потоком 20 августа 1999 г.

Поскольку статистика паводков, образующихся при прорыве водоемов моренно-ледниковых комплексов, отсутствовала, при проектировании

селехранилищ в Казахстане во внимание принимались только паводки, образующиеся при выпадении ливневых дождей. Поверхностный аварийный сброс селевой массы из селехранилищ не предусмотрен на плотинах, сооруженных в бассейнах рек Есик, Киши Алматы и Каскелен.

Сель – многофакторный процесс, и только ограниченность возможностей теории селевых процессов, разработанной во второй половине 20 века, а также фактических данных о влиянии факторов селеформирования на селевую активность, стали причиной того, что в основу проектирования селехранилищ были положены вероятностные характеристики водных паводков.

Вопросами классификации (типизации) селевых бассейнов с целью оценки селевой активности в различных регионах СССР занимались М.Ф. Срибный, П.С. Непорожний, С.М. Флейшман, В.Е. Иогансон, М.В. Цовьян и другие исследователи [10]. В Казахстане этой проблеме уделяли внимание Н.Ф. Колотилин, А.С. Бочкарев, И.П. Смирнов, А.С. Деговец, Г.А. Токмагамбетов, Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова и др.

К одной из первых попыток придания количественных характеристик факторам, определяющим степень «селеносности» бассейнов горных рек можно отнести работу И.П. Смирнова и А.С. Деговца [5]. По их мнению, к факторам, определяющим степень селеносности, относятся: форма бассейна, степень эродированности бассейна, крутизна склонов, уклон русла, наличие растительности, степень оледенения, удельная селеактивность, количество селей на единицу площади бассейна.

Крутизна склонов и уклон русла характеризовались средними значениями синусов углов наклона; степень эродированности – отношением селеактивной площади (не закрепленная растительностью овражно-балочная и речная сеть, различные размывы, осыпи, оплывины и оползни); форма бассейна – отношением площади стокообразования к квадрату длины водотока; влияние растительности – отношением площади, занятой лесом, к площади стокообразования; степень оледенения – отношением площади оледенения к площади стокообразования; повторяемость селей – один раз в число лет.

В работе А.С. Деговца и Г.А. Токмагамбетова [1] степень селеопасности бассейна определяется коэффициентом селеносности K_s

$$K_s = I + i + \Phi + f_o + \mu + S_a + n, \quad (1)$$

где I – средний уклон бассейна; i – средний уклон русла; Φ – форма бассейна; f_o – степень оледенения; μ – степень эродированности; S_a – удельная селеактивность; n – количество селей на единицу площади бассейна.

Количественные показатели степени селеопасности бассейнов рек Иле Алатау приведены в табл. 1 [1].

По значениям коэффициентов селеопасности селевые бассейны Иле Алатау разделены на четыре категории:

1. Весьма селеопасные ($K_s \geq 1,6$). К ним относятся бассейны рек Киши и Улькен Алматы, Аксай и Есик.
2. Сильноселеопасные ($1,6 > K_s \geq 1,4$). Бассейн р. Талгар.
3. Среднеселеопасные ($1,4 > K_s \geq 1,1$). Бассейны рек Шамалган, Каскелен и Узынкаргалы.
4. Слабоселеопасные ($1,1 > K_s$). Бассейны рек Шелек и Турген.

Оценить насколько данные, приведённые в цитируемой статье, могут быть использованы при проектировании противоселевых сооружений и других защитных мероприятий трудно, хотя бы по тому, что используемые в ней термины отличаются по смыслу от понятий, заложенных в основу терминологического словаря «Селевые явления» [2], изданного в 1996 г. Так, степень селевой опасности по словарю «... целесообразно проводить на основе двух показателей – степени селевой активности и степени освоенности территории или значимости объектов, расположенных в зоне возможной селевой угрозы в стоимостном выражении». Для оценки селевой активности «... используют показатели повторяемости и объем селевых выносов» [2].

Тем не менее, данные, приведенные в работе [1], вызывают сомнения в правильности оценки «степени селеопасности» селевых бассейнов Иле Алатау. Согласно данным табл. 1, степень селеопасности бассейна р. Аксай выше, чем бассейна р. Талгар, хотя площадь последнего в 3,6 раза, годовой сток в 1,2 раза и площадь оледенения в 7,5 раза больше соответствующих характеристик бассейна р. Аксай (табл. 2).

Низкая оценка степени селеопасности бассейна р. Талгар (табл. 1) обусловлена, прежде всего, относительно малым значением количества селей на 1 км² площади бассейна. Но ведь подавляющее число селей бассейна р. Аксай – малые по объёму и расходу сели, формирующиеся в очаге Акжар и отлагающиеся в горной долине, не принося существенного ущерба. Высокая оценка степени селеопасности бассейна р. Улькен Алматы – результат учета селей ещё более малых по масштабу селей очага Малютинский.

Таблица 1

Количественные показатели степени селеопасности бассейнов рек Иле Алагау [1]

Река	Количественные показатели селеопасности бассейнов											степень селеопасности реки
	средний уклон бассейна, l	средний уклон русла, l	форма бассейна, Φ	лесистость, f_n	степень оледенения, f_o	степень эродированности, n	селеактивность бассейна, S_a	количество селей на 1 км^2 бассейна, n	повторение селей один раз в число лет, n	коэффициент селеопасности, K_s		
Узынкаргалы	0,345	0,075	0,47	0	0,04	0,32	0,02	0,02	0,02	16	1,3	Средне селеопасная
Шамалган	0,382	0,105	0,19	0	0,02	0,26	0,03	0,03	0,09	11	1,1	
Каскелен	0,400	0,077	0,19	0,5	0,04	0,31	0,04	0,04	0,06	9	1,1	
Аксай	0,429	0,116	0,33	0,10	0,11	0,20	0,21	0,21	0,49	1,5	1,9	Весьма селеопасная
Улькен Алматы	0,620	0,091	0,43	0,12	0,14	0,37	0,34	0,34	0,55	0,9	2,5	
Киши Алматы	0,533	0,122	0,33	0,10	0,10	0,27	0,15	0,15	0,54	0,22	2,1	
Талгар	0,466	0,074	0,11	0,10	0,26	0,21	0,14	0,14	0,14	2	1,4	Сильно селеопасная
Есик	0,422	0,103	0,48	0,14	0,21	0,28	0,04	0,04	0,06	9	1,6	Весьма селеопасная
Турген	0,303	0,064	0,30	0,05	0,03	0,20	0,01	0,01	0,01	24	0,9	Слабо селеопасная
Шелек	0,310	0,039	0,13	0	0,04	0,34	0,01	0,01	0,002	13	0,8	

Таблица 2

Характеристики речных бассейнов северного склона Иле Алатау

Река	Площадь бассейна, км ²	Годовой слой стока, мм	Площадь оледенения, км ²	Сумма площадей крупных ледников, км ²
Каракастек	212	221		
Узынкаргалы	388	320	12,3	11,5
Шамалган	139	292	2,1	1,0
Каскелен	300	436	12,3	10,4
Аксай	124	617	15,6	14,5
Улькен Алматы	256	558	31,5	27,6
Киши Алматы	107	614	11,4	9,4
Талгар	444	742	117,1	110,5
Есик	293	609	53,0	49,4
Турген	583	363	39,5	36,8

Степень селеопасности бассейна по [1] определяется суммой безразмерных коэффициентов, характеризующих различные по физическому смыслу факторы селеформирования. Характеристика факторов безразмерными коэффициентами удобна тем, что позволяет суммировать «землекопов с лопатами», однако требует придания каждому слагаемому коэффициента, характеризующего степень влияния каждого фактора на процесс селеформирования – его «вес». Согласно формулы (1), влияние всех семи факторов одинаково, что практически невероятно. Использование безразмерных коэффициентов при оценке степени селеопасности не позволяет получать и абсолютное её значение. Так, одна и та же «степень селеопасности» может быть получена для селевых бассейнов, площади которых многократно отличаются, если значения слагаемых остаются неизменными.

Результаты изучения геологии и геоморфологии конусов выноса основных рек северного склона Иле Алатау [17, 19] свидетельствуют о том, что более 90 % их объемов представлены селевыми отложениями. Следовательно, значения объемов конусов выноса характеризуют селевую активность речных бассейнов северного склона Иле Алатау, а данные о мерах, предпринятых по защите населения и объектов хозяйственной деятельности от селей, позволяют оценить степень их защищенности при наличии объективной информации о селевой активности хотя бы одного из речных бассейнов. В табл. 3 приведены данные о продольном уклоне, площади и объёме конусов выноса основных рек северного склона Иле Алатау.

Объем и некоторые другие морфометрические характеристики конусов
выноса рек северного склона Иле Алатау

Река	Площадь бассейна, км ²	Площадь конуса выноса, км ²	Объем конуса выноса, км ³	Продольный уклон конуса выноса, ‰
Каракастек	212	52,9	0,8	21,4
Узынкаргалы	388	124,6	4,93	20,4
Шамалган	139	12,2	0,35	41,5
Каскелен	300	25,1	1,16	31,7
Аксай	124	39,6	1,32	34,0
Улькен Алматы	256	71,6	7,58	33,8
Киши Алматы	107	41,5	2,55	36,7
Талгар	444	175,9	10,3	29,6
Есик	293	162,0	18,0	29,6
Турген	583	176,0	11,4	23,3

Данные табл. 3 показывают, что объем конуса выноса р. Есик превышает таковой р. Талгар, хотя площадь бассейна и площадь оледенения р. Талгар существенно больше. Причиной этого несоответствия является относительно более высокая сейсмичность, имевшая место в прошлом в бассейне р. Есик.

Устойчивость скальных откосов определяется многими факторами, что делает невозможным длительную устойчивость крутых склонов в трещиноватых скальных породах, если наклон склона превышает естественный угол откоса. Выравнивание склона контролируется трещиноватостью, поэтому конечная форма склона зависит от ориентировки преобладающих систем трещин. Степень влияния сейсмичности на селевую активность может характеризоваться коэффициентом трещиноватости, определяемым отношением длины разломов, приходящихся на единичную площадь речного бассейна.

Определение коэффициента «трещиноватости» для различных бассейнов рек Иле Алатау проводилось на основе данных о тектонических разломах, приведенных в «Схеме новейшей тектоники Алма-Атинского сейсмоактивного района», составленной Н.М. Чабдаровым. Значения этих коэффициентов приведены в табл. 4.

Сопоставляя данные, приведенные в табл. 3 и 4, нетрудно видеть, что практически двукратное превышение объема конуса выноса р. Есик относительно значения, предписываемого общей закономерностью, хорошо согласуется со значением коэффициента «трещиноватости» для бассейна этой реки.

То же можно сказать и об объеме конуса выноса р. Каскелен. Его малое значение хорошо согласуется с относительно слабым проявлением тектоники Иле Алатау на территории бассейна р. Каскелен, а также влиянием образования верхней предгорной ступени в середине плейстоцена.

Таблица 4

Коэффициенты «трещиноватости» бассейнов рек северного склона Иле Алатау

Бассейн реки	Коэффициент «трещиноватости»
Есик	0,063
Талгар	0,036
Киши Алматы	0,037
Улькен Алматы	0,031
Аксай	0,032
Каскелен	0,020
Шамалган	0,039
Узынкаргалы	0,028

Результаты анализа процессов выветривания коренных пород, слагающих центральную часть хребта Иле Алатау, и переноса его продуктов в высокогорной зоне показали, что главная роль в генерации наносов принадлежит экзарации, их перенос также осуществляется ледниками. Основная масса наносов в высокогорной зоне концентрируется в конечных моренах. Следовательно, определение объема наносов, накопившихся в виде морен в том или ином речном бассейне северного склона Иле Алатау, позволяет оценить объем рыхлообломочных пород, который в ходе глобального потепления может быть вынесен на конусы выноса.

Определение объема рыхлообломочных пород, накопившихся к настоящему времени в речных бассейнах Иле Алатау, – трудоемкое и дорогостоящее мероприятие, связанное с проведением геодезических, геофизических и буровых работ. Существует и другая, соизмеримая по точности и не требующая особых затрат, методика определения. В ее основе лежат два достоверно установленных факта:

- основная масса моренных отложений перемещается на предгорную равнину селями;
- сели, выходя на предгорную равнину, формируют конусы выноса. За их пределы выносятся лишь незначительная часть относительно мелких фракций твердого компонента селевой массы.

Сказанное выше позволяет предполагать о существовании зависимости объема конуса выноса от площади оледенения в речном бассейне, способности горных пород противостоять экзарации, среднего годового слоя стока, времени накопления наносов в высокогорной зоне, а также возможности переноса наносов из высокогорья на предгорную равнину. При этом следует учитывать и наносы, образующиеся в результате выветривания в той части бассейна, где оледенение отсутствовало.

В ситуации, когда почти все наносы, образовавшиеся до вюрма, перенесены из высокогорной зоны на конусы выноса, а наносы, образовавшиеся в вюрме – в малой мере, то простейшая модель, описывающая такую зависимость, может быть записана в виде

$$V_{к.в} = \sum_{i=1}^k \left\{ T_i \frac{\sum L}{S_{\dot{a}}} C \cdot [K_1 S_i + K_2 (S_{\dot{a}} - S_i)] \right\}, \quad (2)$$

где $V_{к.в}$ – объем конуса выноса, в котором сосредоточены наносы, образованные в течение i -х периодов оледенений (км³); T_i – продолжительность i -го оледенения (число лет); $\sum L$ – суммарная длина разломов, приходящихся на речной бассейн (км); принимается постоянной для четвертичного периода; $S_{\dot{a}}$ – площадь речного бассейна (км²); C – средний годовой слой стока, принятый неизменным в четвертичном периоде и равным среднему годовому слою стока из наблюдаемых в 20 веке (мм); S_i – площадь i -го оледенения (км²); K_1 и K_2 – коэффициенты.

Площадь оледенений в различные ледниковые периоды может быть вычислена по данным о положении снеговой линии, определяемой, например, по формуле Л.А. Варданянца.

Коэффициент K_1 может быть определен на примере любого бассейна северного склона Иле Алатау, несущего оледенение. Коэффициент K_2 целесообразно рассчитывать на примере бассейна р. Каракастек, где роль оледенения в генерации наносов была незначительной.

В период Международного геофизического года на леднике Центральный Туяксуйский (Иле Алатау) проводились работы по оценке его транспортирующей способности. Результаты проведенных исследований показали, что за период 1957...1959 гг. ледник вынес около 1000 т рыхлообломочных пород [9], т.е. примерно 330 т/год. Эта величина близка к значению веса наносов, получаемого расчетным способом с помощью (2).

Расчеты показывают, что за период вюрмского оледенения, продолжавшегося около 100 тыс. лет, в высокогорной зоне северного склона Иле Алатау накопилось около 4 км³ отложений, способных принимать участие в процессах селеформирования. Из этого объема за последние 10 тыс. лет на предгорную равнину

ну селями было вынесено менее 5 %. Объем оставшегося материала примерно в 70 раз превышает суммарную емкость селехранилищ, защищающих населенные пункты и объекты хозяйственного назначения от разрушительного воздействия селей. При потеплении глобального климата на 2...3 °С наносы, накопившиеся в высокогорной зоне, в течение нескольких десятилетий 21 века могут быть вынесены на предгорную равнину. Такое развитие событий привело бы к экологической катастрофе в Казахстане. Альтернативой описанному выше сценарию является своевременное широкомасштабное проведение превентивных работ по предотвращению зарождения и развития селей дождевого и гляциального генезисов [7].

Создание современных СНиП позволит не только повысить эффективность существующих селезащитных сооружений, но и разработать и внедрить новую стратегию борьбы с селевыми явлениями, в основе которой должны лежать превентивные мероприятия по снижению и даже ликвидации селевой опасности. Такая стратегия не только значительно экономичнее стратегии, реализуемой в настоящее время, но и позволит предотвратить развитие эрозионных процессов, приводящих к опустыниванию и снижению биоразнообразия в условиях глобального потепления.

Стоимость создания пакета нормативной документации по проектированию, строительству и эксплуатации селезащитных сооружений, правил проведения превентивных мероприятий, эксплуатации селеопасных объектов не превысит 75...100 млн. тенге, что составляет около 20 % от стоимости убытков, нанесенных только селом 1999 г. или 4 % от стоимости плотины, возведенной на р. Талгар. Экономический эффект до конца столетия может составить десятки миллиардов долларов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деговец А.С., Токмагамбетов Г.А. Оценка степени селеопасности бассейнов рек Заилийского Алатау // Вестник АН КазССР. – №11. – 1986. – С. 51-63.
2. Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 45 с.
3. Попов Н.В. Опыт разработки и реализации комплексных и специальных схем инженерной защиты территорий от опасных геологических процессов в Казахстане // Проблемы противоселевых мероприятий: Сборник трудов. – Алматы, 1990. – С. 18-24.
4. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). – М.: Научный мир, 2001. – 204 с.
5. Смирнов И.П., Деговец А.С. Оценка степени селеопасности бассейнов рек при практических расчетах максимального селевого стока // Вестник АН КазССР. – 1970. – №3. – С. 42-47.

6. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Климат голоцена и селевая активность на северном склоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2002. – №1. – С. 74-81.
7. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Разработка и реализация современной стратегии защиты от селей – актуальная проблема обеспечения устойчивого развития Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2004. – №3. – С. 112-119.
8. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №1. – С. 67–79.
9. Токмагамбетов Г.А. Ледники Заилийского Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1976. – 367 с.
10. Флейшман С.М. Сели. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 352 с.
11. Флейшман С.М., Иванов Б.Н., Хегай А.Ю. Насущные задачи селевой науки и практики // Проблемы противоселевых мероприятий: Сборник трудов. – Алматы, 1981. – С. 3-18
12. Хегай А.Ю., Попов Н.В. Перспективы и проблемы инженерной защиты от селей в Казахстане // Проблемы противоселевых мероприятий: Сборник трудов. – Алматы, 1988. – С. 3-7.
13. Шиварева С.П., Долгих С.А., Степанов Б.С., Яфязова Р.К., Ли В.И., Голубцов В.В., Попова В.П., Баймагамбетов Б.О., Петрова Е.Е. Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейнов озера Балхаш и Аральского моря // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №3. – С. 36–61.
14. Штепа Б.Г. Основные проблемы защиты территорий СССР от селевых потоков // Проблемы противоселевых мероприятий: Сборник трудов. – Алматы, 1979. – С. 7-22.
15. Яфязова Р.К. Влияние климата на селеформирующие факторы // Гидрометеорология и экология. – 1997. – №3. – С. 209-216.
16. Яфязова Р.К. Глобальное потепление климата и селевая активность. Проблемы адаптации // Гидрометеорология и экология. – 2001. – №3-4. – С. 97-106.
17. Яфязова Р.К. Основные закономерности формирования селевых конусов выноса (на примере северного склона Заилийского Алатау): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Алматы, 1998. – 21 с.
18. Yafyazova, R.K. 2003. Influence of climate change on mudflow activity on the northern slope of the Zailiysky Alatau Mountains, Kazakhstan. In D. Rickenmann & C.L. Chen (eds), Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment; Proceedings 3rd International DFHM Conference, Davos, Switzerland, September 10-12, 2003:199-204.

19. Yafyazova, R.K. 2007. Debris cones as a source of information on debris-flow activity. In C.L. Chen & J.J. Major (eds), Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment; Proceedings 4th International DFHN Conference, Chengdu, China, September 10-13, 2007:87-93.

Поступила 13.12.2011

Геогр. ғылымд. докторы Б.С. Степанов
Техн. ғылымд. докторы Р.К. Яфязова

**СЕЛДЕН ҚОРҒАУ. СЕЛ БЕЛСЕНДІЛІГІН БАҒАЛАУ
ПРОБЛЕМАЛАРЫ**

Іле Алатаудың солтүстік баурайындағы сел белсенділігінің қазіргі жағдайын бағалау нәтижелері келтірілген. Селден қорғау стратегияларын өңдеу мен іске асыруда селдің құрылуының климаттық факторларының қазіргі кездегі өзгеруін ескеру қажеттілігі айқындалады.