

К 30-летию первого эксперимента по воспроизведению искусственного селя на Чемолганском полигоне

СЕЛИ.  
ГИПОТЕЗЫ, РЕШАЮЩИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ТЕОРИИ И ПРАКТИКА, ПРОГНОЗ

Доктор геогр. наук           Б.С. Степанов  
Канд. геогр. наук           Р.К. Яфязова

*Изложена эволюция представлений о механизмах формирования, движения и остановки селей, образующихся при взаимодействии сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами. Дано обоснование прогноза резкого возрастания селевой активности в горных районах, имеющих оледенение, в случае глобального потепления.*

На ранней стадии развития человечества, когда человек еще не стал *Homo sapiens*, его внутренний мир и поведение в окружающей среде определялись интуицией – опытом унаследованным и приобретенным. Совершенствование орудий труда и защиты от врагов привели к тому, что у человека появилось время задуматься о причинах происхождения природных явлений. Результатом этих раздумий стало язычество - мировоззрение и мироощущение, основанное на вере в существование множества богов - “фантастическое отражение в головах людей тех внешних сил, которые господствуют над ними в их повседневной жизни, - отражение, в котором земные силы принимают форму неземных” (Ф. Энгельс). Такое представление, устраивавшее большинство обитателей древнего мира и сохранившееся у наиболее отсталых современных племен, вызывало сомнения у отдельных представителей упомянутых сообществ. Попытки объяснения небожественного происхождения тех или иных природных феноменов, в форме предположительного суждения о закономерной (причинной) связи явлений, получили название гипотез, воспроизведение объекта познания - эксперимента (опыта), а форма научного познания, дающая целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности, - теории [6].

Наука о селях, возраст которой ненамного превышает сто лет, за короткий исторический период пережила все этапы развития. Наиболее важные результаты получены в 70-х годах 20 века.

Для формирования селей необходима вода, рыхлообломочные породы, наличие у последних потенциальной энергии, которая может относительно быстро трансформироваться в кинетическую. Однако даже если все перечисленные факторы и имеются, сели могут не формироваться: необходимо, чтобы величины, характеризующие факторы, превышали так называемые критические значения.

Взаимозависимость факторов обуславливает широкий диапазон изменения критических условий формирования селей. В первом приближении сели можно подразделить на две категории. В одной из них перемещение рыхлообломочных пород происходит в основном за счет энергии воды. В другой главным источником энергии является потенциальная энергия рыхлообломочных пород. При плотности рыхлообломочных пород  $2650 \text{ кг/м}^3$  плотность селей первой категории не превышает (в соответствии с вышеприведенным определением)  $1452 \text{ кг/м}^3$ ; плотность селей другой категории может достигать  $2485 \text{ кг/м}^3$ . Значительно больше разнятся объемы селей. Если в первом случае объем селя превышает объем воды в 1,38 раза, то в другом – в 10 раз, а при наличии воды в поровом пространстве рыхлообломочных пород - в 20 раз и более. Так, селевой поток, задержанный плотиной в урочище Медеу (хр. Заилийский Алатау) в 1973 г., сформировался в результате прорыва гляциального озера объемом  $0,225 \text{ млн м}^3$ , а объем селя составил  $3,8 \text{ млн м}^3$ !

Большая разница в объемах селей, а следовательно, и в средствах, необходимых для борьбы с ними, предопределили жаркую дискуссию, развернувшуюся в 50-70-х годах 20 века по вопросу: может ли водный поток трансформироваться в сель с плотностью, близкой к таковой рыхлообломочных пород? При этом не вызывало сомнений существование селей с плотностью, близкой к  $2500 \text{ кг/м}^3$ , возникающих при разжижении оползневых масс. Примеров тому было множество.

Значительно хуже обстояло дело с наблюдениями за трансформацией водных потоков в сели с большой плотностью - таковых практически не было. Исключением, пожалуй, были исследования, проводившиеся Г.В. Ивановым при проходке геологоразведочных канав. Плотная селевая масса формировалась при движении потоков по пионерским канавам, соз-

дававшимся вручную на крутых склонах [4] в элювиальных и делювиальных образованиях.

Доклад Г.В. Иванова на IV Всесоюзной конференции по селевым потокам вызвал жесткую критику со стороны председателя Комиссии по изучению селевых потоков при Отделении геолого-географических наук АН СССР чл.-корр. АН СССР М.А. Великанова. "Этот доклад имеет основную цель показать возможность качественного моделирования селевых явлений методами, применяемыми при проходке геологоразведочных канав. Но докладчик не понял, что надо сначала показать сходство структурных потоков, образующихся в геологоразведочных канавах, с естественными селями... к научно обоснованному моделированию можно будет приступить лишь после накопления достаточно полных материалов из применения метода изучения следов" [1]. Мнение М.А. Великанова поддержали ведущие селевики СССР. Изучение селей продолжалось "методом изучения следов", а в качестве защиты от селей возводились сквозные конструкции, призванные задерживать лишь крупные фракции смесей. Так, в окрестностях г. Алматы появились стальные конструкции, сохранившиеся до настоящего времени в 5 км ниже от спортивного комплекса "Медеу".

К описываемому времени были разработаны математические модели, с помощью которых была показана возможность формирования плотных селевых смесей в ходе взаимодействия водных потоков с рыхлообломочными породами в очагах селеформирования. Но это были лишь модели и надо было обладать неординарной смелостью и убежденностью ученых, мужеством организаторов науки, чтобы вопреки сложившемуся мнению о "плодотворности и единственности... методов изучения следов", по "которому мы в состоянии прийти к натуральному, а не фиктивному моделированию", пойти на воссоздание "искусственного селя" ничем не отличающегося от "натурального" [1].

Ими стали Х.А. Ахмеджанов и Ю.Б. Виноградов, руководившие в 80-е годы Казахским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (КазНИГМИ). Они сумели убедить руководство Госкомгидромета СССР выделить более 300 тыс. долларов США только на разработку и изготовление опытных образцов электронных бесконтактных измерителей уровня, скорости, расхода селей и плотности селевых смесей Специальному конструкторскому бюро завода "Казгеофизприбор". Боль-

шие средства были затрачены и на строительство Чемолганского полигона, включавшего в себя плотинный узел и измерительные створы [12].

### Чемолганский эксперимент

Эксперимент должен был подтвердить или опровергнуть гипотезу Ю.Б. Виноградова о возможности формирования селей с плотностью более  $2000 \text{ кг/м}^3$  в очагах локального селеобразования. Для воспроизведения селя был выбран естественный селевой врез, вмещенный в верхнечетвертичную морену в высотном интервале 2645-2900 м, его длина составляла 930 м, уклон -  $16-18^\circ$ , максимальная глубина - 75 м, наибольшая ширина - 150 м, объем - 3,17 млн  $\text{м}^3$ . Врез образовался в ходе селевых процессов, обусловленных прорывом моренного озера.

Конструкция плотинного узла позволяла осуществить водный пуск с расходом до  $70 \text{ м}^3/\text{с}$ , что обеспечивало вовлечение в селевой процесс все крупности рыхлообломочных пород, слагавших морену.

Эксперименту предшествовал трудоемкий комплекс работ по определению гранулометрического состава селеформирующих пород, их пористости, влажности и сцепления, средней магнитной восприимчивости; была проведена топографическая съемка главного селевого вреза, транзитной зоны и нижнего вреза, а также предполагаемой зоны отложения селя. В нижней трети главного вреза, в нескольких метрах от пути движения потока, был пройден шурф глубиной 7 м, в котором установили аппаратуру для регистрации уровня грунтовых вод. В контрольном створе, расположенном на границе между транзитной зоной и нижним врезом, была установлена основная часть средств измерения характеристик потоков. В 170 м выше была сооружена конструкция для измерения динамического воздействия селевого потока на препятствие.

И вот наступил день решающего эксперимента - 27 августа 1972 г. Решающим его можно было называть в полной мере, так как ранее проведенные эксперименты в КазНИГМИ под руководством И.П. Смирнова в 1951-1955 гг., в Мамско-Чуйской экспедиции Иркутского геологического управления под руководством Г.В. Иванова, проводившиеся с 1952 г., в Казахском филиале Гидропроекта под руководством М.С. Коляды в районе бывшего озера Иссык в 1968-1970 гг., в силу незначительности величин углов наклона, пространственной и временной ограниченности, малых объемов воды и рыхлообломочных пород, которые могли принять участие в формировании селевых смесей, в какой то мере характеризовали

те или иные переходные процессы, но не отвечали на главные вопросы, интересовавшие ученых и практиков. К таким вопросам относились: какова предельно возможная плотность селей, и следовательно, соотношение между объемами водных паводков и селей, является ли волнообразный характер движения селей следствием "заторов" и т.д.?

Все перечисленные выше ограничения, в силу природного происхождения селевого вреза, были сняты в эксперименте КазНИГМИ 1972 г. "Искусственность ситуации сказалась только в способе получения потока воды, поступившего в селевой очаг. В нашем случае этот поток был создан попуском воды из водохранилища. С таким же успехом он мог возникнуть в результате прорыва моренного озера или выпадения мощного ливня на альпийских лугах в пределах водосбора селевого очага. Сам же процесс формирования селя ни в коей мере не может быть признан отличным от такового без участия человека" [2].

Впервые более 150 специалистов, приехавших на эксперимент из Москвы, Ленинграда, Еревана, Новосибирска и других городов СССР, смогли в идеальных погодных условиях наблюдать процессы формирования и движения грязекаменного селя с расходом более  $100 \text{ м}^3/\text{с}$  (расход водного попуска  $16 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и плотностью селевой смеси более  $2300 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Помимо специальной аппаратуры селевой процесс фиксировался 16 кинокамерами на цветную негативную 35-миллиметровую пленку.

Эксперименты КазНИГМИ по воспроизведению искусственных селей проводились в 1972, 1973, 1975, 1976 и 1978 гг. К основным выводам, полученным в результате экспериментов и имеющим принципиальное значение для понимания механизма формирования селей в процессе взаимодействия сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами можно отнести:

- заторных явлений при движении потоков в очаге селеформирования не наблюдалось;
- волнообразный характер движения селей обусловлен механизмом их формирования;
- насыщение потока твердой составляющей во времени и пространстве носило квазинепрерывный характер;
- средние скорости движения твердого и жидкого компонентов в потоках имели одинаковые значения, повышенная концентрация крупных фракций в головных частях потоков объясняется, скорее всего, большим

содержанием указанных фракций в русле временного водотока, существовавшего в очаге в периоды между экспериментами;

- средняя скорость углубления русла составляла около 1 см/с, что на порядки превышает скорость фильтрации воды в селеформирующих породах и, следовательно, в решающей мере определялась эрозионным воздействием потоков на породы, вмещающие русло;

- вовлечение твердого компонента в селеобразование происходит путем размыва грунта, разрушения структуры последнего в результате ударного воздействия со стороны крупных частиц и передачи рыхлообломочным породам количества движения со стороны жидкого и твердого компонентов селевых смесей; сдвиговые явления при нормальном увлажнении грунтов носят подчиненное значение;

- взаимодействие сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами (в основе которого лежит процесс эрозии) приводит к формированию селевых смесей с плотностью 2300-2400 кг/м<sup>3</sup>, если уклон очага превышает 16°, а длина близка к 900 м;

- водный поток с расходом 27,5 м<sup>3</sup>/с при движении по Чемолганскому очагу трансформируется в грязекаменный поток с расходом 430 м<sup>3</sup>/с.

Результаты экспериментов на Чемолганском полигоне развенчали паводковую концепцию о природе селей дождевого генезиса Заилийского Алатау, в соответствии с которой считалось, что сели - ливневые паводки, транспортирующие взвешенные и влекомые наносы за счет энергии воды, и плотность которых колеблется в пределах 1100-1700 кг/м<sup>3</sup>.

Выявление механизма формирования селей при взаимодействии сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами позволило разработать модели, описывающие изменение основных характеристик селей при их движении на относительно больших уклонах (9-11° и более). Расчетные данные легли в основу проектов селезадерживающих плотин, расположенных в горной зоне.

Совершенствование методов борьбы с селями было невозможно без информации о дальности их продвижения, изменении характеристик селей в пространстве вплоть до остановки селевых смесей или их распада на относительно малых уклонах (единицы, доли градуса). Существовавшие два десятилетия назад теоретические представления о характере зависимости плотности так называемых турбулентных селей, а к ним относили сели дождевого и гляциального генезисов, от уклона пути движения

указывали на ее однозначность. Из чего следовало, что плотность селея, сформировавшегося на больших уклонах, должна уменьшаться при выходе его на относительно меньшие уклоны. Однако это противоречило наблюдаемым явлениям, ярким примером тому может служить сель 1921 г., уничтоживший восточную часть г. Верного (Алматы).

### **Теория существования селевых смесей**

Впервые гипотеза, объяснявшая описанный выше феномен, была опубликована в 1980 г. [7]. В ее основу положено утверждение, что транспорт наносов и селевые явления относятся к процессам, характер которых определяется действием отрицательных и положительных обратных связей. При помощи обратных связей осуществляется то самоуправление, в результате которого система приводится в состояние устойчивого или неустойчивого равновесия. Знаки и величины обратных связей являются сложной функцией расхода потока, плотности селевой смеси, минералогического и гранулометрического составов ее твердой составляющей, морфометрических характеристик русла. Для водных потоков, транспортирующих наносы, характерно преобладание отрицательных обратных связей: увеличение плотности смеси уменьшает способность потока к дальнейшему обогащению твердой составляющей. Зависимость плотности потока от уклона носит однозначный характер. Для потоков, основным источником энергии которых является потенциальная энергия твердой составляющей селевых смесей, суммарная величина положительных обратных связей может превышать таковую отрицательных обратных связей. В этом случае возрастание плотности приводит к увеличению способности потока к дальнейшему обогащению твердой составляющей.

Теоретическое описание этих процессов, подтвержденное результатами экспериментальных проверок, привело к открытию явления скачкообразного изменения плотности селевых потоков [8]. Было установлено, что в определенных ситуациях (типичных для природных процессов) зависимость между плотностью селевых смесей и уклоном русла неоднозначна. Именно поэтому плотная селевая смесь, образовавшаяся на относительно больших уклонах, может не только не распасться при движении на малых уклонах, но и до определенных пределов обогащаться твердой составляющей. Описание обсуждаемых процессов стало возможным лишь после успешного развития реологии селевых смесей, твердая составляющая которых представлена частицами, размеры которых изменя-

ются от долей микрона (в том числе и коллоидных) до нескольких метров. Большой вклад в изучение реологических свойств таких смесей внесла Л.Н. Гавришина [3].

Решающим природным экспериментом, результаты которого позволили гипотезе о неоднозначной зависимости плотности селевого потока от уклона русла приобрести статус теории, стал селевой процесс в пустыне Жаманкум 28-29 января 1988 г. [11]. Сель сформировался в результате прорыва накопителя сточных вод, аккумулировавшихся в естественной котловине, объемом около 36 млн м<sup>3</sup>. В ходе селевого процесса образовался каньон длиной 10,6 км, шириной до 240 м и глубиной до 53 м. Уклон дна каньона составлял 0,0058-0,0087. Расход селя на выходе из каньона в долину р. Каскелен составлял 1500-2500 м<sup>3</sup>/с при плотности селевой смеси 1800-1920 кг/м<sup>3</sup>.

Исключительно благоприятным обстоятельством, позволившим в полной мере проявиться турбулентному перемешиванию, как главному фактору поддержания твердой составляющей во взвешенном состоянии вплоть до почти предельно возможных (из соображений упаковки) значений ее концентрации в селевой смеси, было практически полное отсутствие в гранулометрическом составе песков Жаманкум пылевато-глинистых фракций. Даже при концентрации  $C = 0,57$  (плотность селевой смеси  $1920 \pm 20$  кг/м<sup>3</sup>) селевая смесь не обладала пластическими свойствами, способными в ощутимой мере влиять на ход селевых процессов.

Результаты изучения условий формирования и движения селя, сформировавшегося в пустыне Жаманкум, отложений селевой смеси на 33 км участке от каньона до Капчагайского водохранилища на р. Или полностью подтвердили положения теории существования селевых смесей, описывающей зависимость плотности селевых смесей от определяющих факторов. Создание теории существования селевых смесей позволило поднять на качественно более высокий уровень математическое моделирование селевого процесса. "Стало возможным математическое описание не только процесса селеформирования в очаге, но и трансформации селевого потока на всем пути его движения (процессов набора, распада, отложения, включая остановку на конусе выноса) с расчетом всех характеристик в любом створе русла. На основе новой теории селевого процесса Т.С. Степановой, Г.П. Елистратовой была разработана базовая модель селевого процесса. Она описывает селевой процесс при концентрированном



водном стоке (гляциальные и прорывные паводки), а также ливневого генезиса при подключении блока, описывающего формирование ливневого паводка на водосборе селевого бассейна, или оползневого генезиса при подключении блока, описывающего механизм сдвижения водонасыщенных грунтов, например, в результате землетрясений" [10].

### **Селевая активность. Прогноз.**

При разработке стратегии борьбы с селевыми явлениями важная роль принадлежит информации о повторяемости селей и их характеристиках. Регион Заилийского Алатау всегда считался одним из самых селеопасных на территории СССР. Мощные сели 20 века в бассейнах рек Иссык, Талгар, Малая и Большая Алматинки служили тому подтверждением. Данные, полученные с помощью методов дендрохронологии и лишенометрии указывали на то, что сели имели место и 300 лет назад. Правда эти методы не позволяли в полной мере судить о характеристиках селей. Из-за того, что внимание на этом не акцентировалось, установилось представление, что селевая активность 20 века мало отличается от средней селевой активности в голоцене. Именно это представление легло в основу стратегии борьбы с селевыми явлениями в Казахстане, разработанной в середине 70-х годов прошлого века. Основное внимание в этой стратегии уделялось строительству селезащитных плотин, которые должны были задерживать в горной зоне катастрофические сели, формирующиеся, как считалось, 1-2 раза в столетие в каждом из речных бассейнов северного склона Заилийского Алатау.

Первые сомнения в правильности существовавшей оценки селевой активности и, следовательно, проектных значений емкостей селехранилищ, появились после того, как было установлено, что конусы выноса, на которых расположены Алматы, Есик, Талгар, Каскелен и другие населенные пункты, в основном образованы в результате отложения селевых масс при выходе селей из горных долин на предгорную равнину. Доля речных отложений на конусах выноса составляет менее 10 %. Выяснилось также, что объемы конусов выноса рек северного склона Заилийского Алатау отличаются более чем в 10 раз [13].

Невольно напрашивался вопрос: если объем конуса выноса р. Малая Алматинка - 2,5 млрд м<sup>3</sup>, а емкость селехранилища в Медеу - 12,6 млн м<sup>3</sup> (в правильности расчета которой сомнений не возникает), то правильно ли была назначена емкость селехранилища на р. Иссык в 12 млн м<sup>3</sup>, если объем ее ко-

нуса выноса равен 17 млрд м<sup>3</sup>? Столь же неутешительным оказалось сопоставление объемов конусов выноса других рек северного склона Заилийского Алатау и построенных на них селехранилищ.

Изучение строения конусов выноса рек северного склона Заилийского Алатау [13], новые данные об изменении глобального климата Земли, полученные при изучении ледниковых кернов из скважин, пробуренных в Гренландии и Антарктиде [5], позволили сделать вывод об определяющей роли климата в селевой активности. Было установлено, что в периоды оледенений, т.е. на протяжении десятков тысяч лет, селевая активность практически равна нулю, очень незначителен и вынос наносов на конусы выноса водными потоками.

Лишь в условиях климата 20 века произошло увеличение селевой активности, причем оно было связано с активизацией селей гляциального генезиса. Потепление климата с середины 19 века на величину, близкую к 1 °С привело к отступанию ледников и, как следствие, образованию емкостей на моренно-ледниковых комплексах. Их заполнение водой и прорыв вызывали катастрофические селевые явления в 1958 и 1963 гг. в бассейне р. Иссык, в 1956 и 1973 гг. в бассейне р. Малая Алматинка, в 1977 г. в бассейне р. Большая Алматинка и т.д.

Катастрофические сели дождевого генезиса в голоцене были редким природным явлением. Объясняется это тем, что стартовые зоны селей дождевого генезиса, т.е. зоны, в которой эрозионные и сдвиговые процессы инициируют развитие катастрофических селей, находятся в высотных зонах, где осадки выпадают в виде града, крупы и снега. И лишь очень редкое сочетание метеорологических элементов, встречающееся 1-2 раза в столетие в условиях климата 20 века, приводит к выпадению в стартовых зонах ливней в виде дождей. Такое явление имело место в бассейне р. Малая Алматинка в 1921 г., когда сформировался сели, который разрушил часть г. Верный.

Дальнейшее потепление климата приведет к дегляциации хребта, которая будет сопровождаться распадом ледников. Следствием этого будет возрастание числа моренных озер, ускорение их развития. Возрастет активность селей гляциального генезиса.

Однако наибольший ущерб в результате глобального потепления могут принести сели дождевого генезиса. При возрастании температуры на 2-3 °С зона, где ливневые осадки выпадают в виде дождей, поднимется на 400-

500 м. Это означает, что практически все современные стартовые зоны селей дождевого генезиса приобретут возможность функционирования несколько раз в год, т.е. повторяемость селей увеличится в десятки и сотни раз. По мере отступления ледников число стартовых зон будет увеличиваться. За счет увеличения увлажненности рыхлообломочных пород вследствие оттаивания криолитозоны, уклонов стартовых зон, их длин, характеристики селей возрастут в несколько раз. Такая ситуация имела место на северном склоне Заира в Антарктиде превышала современное значение на  $2,6^{\circ}\text{C}$  [14].

О масштабах усиления селевой активности можно судить сопоставляя объемы отложений на конусах выноса за период рисс-вюрмского межледниковья и за голоцен. Результаты обследования территории г. Алматы показали, что если равномерно распределить по всей площади конуса выноса отложения селей голоцена, то толщина слоя не превысит 0,2-0,3 м. Мощность отложений за период рисс-вюрмского межледниковья составляет 30-50 м, т.е. примерно в 100 раз больше.

Вынос 1 млрд  $\text{м}^3$  селевых отложений (в 100 раз больших по объему, нежели емкость селехранилища в Медеу) может произойти за очень короткий промежуток времени - 50-100 лет. На это указывает строение конуса выноса р. Аксай. На стенках карьера нерудных материалов, расположенного в средней части конуса выноса р. Аксай, хорошо прослеживаются десятки слоев селевых и речных отложений. Однако не обнаружено ни одного слоя отложений, содержащего гумус. Опыт свидетельствует, что гумусные слои, хорошо выделяющиеся среди других отложений, могут формироваться за несколько десятилетий. Следовательно, сели на конусе выноса р. Аксай отлагались через очень короткие промежутки времени. И это естественно, так как лимитирующим фактором селеформирования являлись дожди ливневого характера, которые, как отмечалось выше, в условиях глобального потепления климата будут выпадать по несколько раз в год.

Если методы борьбы с селями гляциального генезиса в принципе разработаны, то до последнего времени возможность превентивного воздействия на селеформирование дождевого генезиса представлялась проблематичной. Лишь в последние годы, когда был выявлен механизм зарождения селей в стартовых зонах [9], появилась надежда, что их мелиорация позволит активно влиять на формирование селей дождевого генезиса.

Глобальное потепление приведет и к тому, что верхняя предгорная ступень Заилийского Алатау окажется в зоне полупустыни. Исчезновение растительности, предохраняющей низко- и среднегорную зоны от эрозионных процессов при выпадении ливневых осадков, приведет к быстрой трансформации увалисто-холмистого рельефа, покрытого травянистой и кустарниково-древесной растительностью в бесплодные бедленды. Зоны междуречий превратятся в сплошные очаги рассредоточенного селеобразования. На предгорную равнину будут выноситься ежегодно миллионы кубометров сначала лесовых, а затем селевых отложений. Такие процессы имели место в росс-вюрмское межледниковье, когда эрозионными процессами был сформирован рельеф междуречий.

Произойдет ли сказанное выше или нет, зависит от правильности прогноза изменения климата и своевременности и полноты мер по адаптации к природным катаклизмам.

Решающий эксперимент не за горами...

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов М.А. По поводу доклада Г.В. Иванова // Материалы IV Всесоюзной селевой конференции. - Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1959. - С. 209-210.
2. Виноградов Ю.Б. Искусственное воспроизведение селевых потоков на экспериментальном полигоне в бассейне р. Чемолган // Селевые потоки. - М.: Гидрометеиздат, 1976. - № 1. - С. 3-7.
3. Гавришина Л.Н. Исследование статического напряжения сдвига вязко-пластических селевых смесей на моделях: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. - Алма-Ата, 1985. - 24 с.
4. Иванов Г.В. Проходка канав селевыми потоками. - Иркутск: Книжное издательство, 1955. - 44 с.
5. Котляков В.М., Лориус К. Глобальные изменения за последний ледниково-межледниковый цикл // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 1992. - № 1. - С. 5-22.
6. Советский энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1988. - 1599 с.
7. Степанов Б.С. О механизме формирования селевых потоков // Селевые потоки. - М.: Гидрометеиздат, 1980. - № 4. - С. 20-23.
8. Степанов Б.С. Явление скачкообразного изменения плотности селевых потоков. Заявка на открытие. // Селевые потоки. - М.: Гидрометеиздат, 1992. - № 12. - С. 141-172.

9. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. - 2001. - № 1-2. - С. 74-81.
10. Степанова Т.С., Хайдаров А.Х. Основные этапы 50-летней истории отдела селевых потоков / Материалы международной научной практической конференции "Проблемы гидрометеорологии и экологии". - Алматы, 2001. - С. 205-209.
11. Хайдаров А.Х., Шевырталов Е.П. Селевые явления в песках Жаманкум 28-29 января 1988 // Селевые потоки. - М.: Гидрометеоздат, 1989. - № 11. - С. 49-59.
12. Хонин Р.В., Мочалов В.П., Земс А.Э. Экспериментальный полигон в бассейне р. Чемолган и история его создания // Селевые потоки. - М.: Гидрометеоздат, 1976. - № 1. - С. 7-25.
13. Яфязова Р.К. Основные закономерности формирования селевых конусов выноса (на примере северного склона Заилийского Алатау): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. - Алматы, 1998. - 21 с.
14. Jouzel, J., C. Lorius, J.R. Petit, N.I. Barkov, and V.M. Kotlyakov. 1994. Vostok isotopic temperature record. pp. 590-602. In T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski, and F.W. Stoss (eds.), Trends'93: A Compendium of Data on Global Change. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

### **СЕЛДЕР. ГИПОТЕЗАЛАР, ШЕШУШІ ЭКСПЕРИМЕНТТЕР, ТЕОРИЯЛАР МЕН ТӘЖІРІБЕ, БОЛЖАМ**

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

*Бағытталған су ағыстарының қосыған сынық таужыныстармен өзара әсер етуі кезінде пайда болатын селдердің құрылу, қозғалу және тоқтау механизмдері туралы ұғымдар эволюциясы суреттелген. Мұздақты таулы аймақтардағы сел белсенділігінің глобалды жылу жағдайында ықтимал күрт өсуі болжамының негіздемесі берілген.*