

**ВКЛАД НАЦИОНАЛЬНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В СЕЛЕВУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРАНЫ****Б.С. Степанов*** д.г.н.*РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан
E-mail: bs.stepanov@gmail.com*

В данной статье рассмотрена и проанализирована научная деятельность Национальной гидрометеорологической службы Казахстана за многолетний период по изучению зарождения, развития и деградации селей, осуществлявшаяся с целью уменьшения ущерба, наносимого селями. Исследовались особенности выпадения осадков, опорожнения поверхностных и внутриледниковых водоемов, минералогический и гранулометрический составы рыхлообломочных пород, геоморфологические условия селеформирования, повторяемость и характеристики селей. Разработаны методы расчета вязкости и пластичности селевой массы, используемые при математическом моделировании формирования селей. Разработан метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса, основанный на данных о предварительном увлажнении грунта, положении нулевой изотермы и сезонной снеговой линии, текущей фактической метеорологической информации. Оправдываемость этого метода в десятки раз превышает оправдываемость метода краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса, использовавшегося ранее. Расчет характеристик селей основан на открытии неоднозначной зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя. Разработана Карта селевой опасности территории Республики Казахстан. Предложена концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата. Разработан геолого-геоморфологический метод определения генезиса конуса выноса, который позволяет оптимизировать работу по оценке риска урбанизации территорий, расположенных в горной и предгорной зонах.

Ключевые слова: сель, селеведение, метод прогноза, карта селевой опасности, расчет характеристик селей и селевой массы, проектирование селезащитных сооружений

Поступила: 27.10.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-113-123

Несмотря на имеющиеся сведения о селях в бассейнах рек Заилийского (Иле) Алатау с 16 века, достоверные сведения о селях имеются с 1887 года. Во время сильного землетрясения крупные оползни в результате разжижения лесса верхней предгорной ступени трансформировались в сели. В 1921 году во время сильного дождя образовался катастрофический сель в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы). Этот сель нанес большой ущерб г. Верный (г. Алматы), погибло 500 человек. В 1963 году в бассейне р. Иссык (р. Есик) сформировался катастрофический сель в результате прорыва озера на леднике Жарсай. Погибли люди, значительным был и материальный ущерб (Яфязова Р.К., 2007; Яфязова Р.К., 2018). Катастрофический сель 1963 года стал толчком к проектированию селезащитных сооружений

для защиты г. Алма-Ата (г. Алматы). В 1964 году началось строительство высокогорной габрионной плотины – первой преграды селевым потокам. В 1966 году принято окончательное решение – защитить г. Алма-Ата (г. Алматы), построив плотину в урочище Медеу. Плотина, впервые в мировой практике, возводилась мощным направленным взрывом. К 1973 году селезащитная плотина была на стадии завершения, когда в результате прорыва озера на леднике Туюксу (Туйыксу) сформировался катастрофический сель. Погибли люди, потребовались большие материальные средства для ликвидации последствий этого селя (Яфязова Р.К., 2007; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Это послужило тому, что постановлением №449 от 23 августа 1973 года «Об организации главного управления по строительству и эксплуатации селезащитных

сооружений при Совете министров Казахской ССР» была создана Казглавселезащита, которой исполняется 50 лет в этом году.

Проблемой селей в Национальной гидрометеорологической службе Республики Казахстан начали заниматься с 1941 года. Были собраны и частично обобщены данные о зависимости скорости потока от влекущей силы, связи ливневых паводков с осадками, другие материалы.

В 1946 году были сформулированы основные задачи селеведения и определены пути их решения: выявление условий образования селей и факторов, их обуславливающих (геология, рельеф, почва, растительность, климат); изучение характеристик селей; прогнозирование селей; разработка методов изучения селей, а также способов борьбы с ними. В практику исследования селей были введены рекогносцировочные авиа- и специализированные полевые обследования. Результаты проведенных работ позволили объяснить специфическую для селей особенность – волнообразность движения в ходе развития селевого процесса. В то же время приходит понимание необходимости комплексного изучения селей.

В 1950 году после прохождения катастрофического селя в бассейне р. Большая Алматинка (р. Улкен Алматы) сотрудники Гидрометслужбы во главе с С.П. Кавецким обследовали следы прохождения селя, дали оценку изменения характеристик селя по мере его движения (Технический отчет, 1950).

В 1954 году в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (КазНИГМИ) был организован Отдел селевых потоков, в котором проводились исследования по разработке методов прогноза селевой опасности. Поскольку о природе селей в те годы практически ничего не было известно, усилиями сотрудников Отдела селевых потоков удалось воспроизвести ряд небольших искусственных селей.

В 1956 году было проведено обследование следов гляциального селя в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы); в 1959 году и в последующих годах – обследование и анализ селевых проявлений в Джунгарском (Жетысу) Алатау (бассейн р. Текели) и Таласском Алатау; в 1958 и 1963

годах – катастрофических селевых потоков в бассейне р. Иссык (р. Есик).

На Алма-Атинской селестоковой станции Гидрометслужбы в период с 1958 по 1965 годы под руководством кандидата географических наук А.Ф. Литовченко была выполнена большая работа по выявлению особенностей выпадения ливневых дождей в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы). В процессе этой работы было задействовано около 100 плювиографов. Это позволило установить пространственно-временные закономерности выпадения жидких осадков, характер поверхностного и подземного стока, дать оценку влияния растительности на характеристики стока и выявить роль дождевых паводков при формировании селей (Литовченко А.Ф., 1986).

Большое внимание было уделено изучению пространственного распространения селей и систематизации данных о них. Под руководством С.П. Кавецкого (первого заведующего Отделом селевых потоков) подготовлены материалы в общесоюзное академическое издание «Сели в СССР и меры борьбы с ними» по разделу Казахстан. В разделе рассмотрены условия формирования селевых потоков, выделены наиболее опасные районы и бассейны, приведены случаи катастрофических селей, описание их последствий. Даны рекомендации по мерам борьбы с селевой опасностью.

Результаты научных разработок позволили КазНИГМИ занять одно из ведущих мест в исследовании селевых потоков. В 1958 году на КазНИГМИ было возложено методическое руководство и координация работ по изучению селевых явлений в Госкомгидромете СССР.

С 70-х годов лидирующее положение в области изучения природы селей в СССР принадлежало КазНИГМИ. На протяжении более 30 лет КазНИГМИ был головной организацией по изучению селей в Госкомгидромете СССР. Отдел селевых потоков КазНИГМИ координировал работу и оказывал методическую помощь подразделениям Госкомгидромета СССР, занимавшимся селевой проблематикой на территории: от Камчатки до Карпат и от Памира до Таймыра. Большая работа была

выполнена Отделом селевых потоков при проектировании Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, а также в интересах Министерства обороны СССР.

В 70-е годы Отдел селевых потоков состоял из трех лабораторий: прогноза и расчета характеристик селей, селеметрической, занимавшейся разработкой приборов для измерения характеристик селей, свойств селевой массы, технических средств оповещения о селевой опасности и гляциальных процессов, а также Комплексной селевой экспедиции, в задачу которой, в частности, входило методическое руководство полевыми работами подразделений Госкомгидромета СССР, занимавшихся селевой проблематикой. Общая численность Отдела селевых потоков и Комплексной селевой экспедиции достигала 70-и сотрудников. К этому времени выяснилось, что моделирование селевых процессов не имеет научного обоснования. Отсутствие достоверных критериев подобия при моделировании селевых процессов не позволяло использовать полученные результаты для познания закономерностей формирования, движения и деградации реальных селей, а также расчета их количественных характеристик. Для этого требовалось воспроизведение селевых потоков в натуральном масштабе, т.е. на 1...2 порядка превышающих масштабы предшествовавших экспериментов.

С этой целью в период с 1968 по 1972 годы в специализированном конструкторском бюро (СКБ) завода «Казгеофизприбор» выполнялся заказ КазНИГМИ на разработку приборов для измерения характеристик селей для Чемолганских экспериментов. Под руководством кандидата технических наук Б.С. Степанова (начальника бюро СКБ завода «Казгеофизприбор») были разработаны приборы для бесконтактного измерения характеристик селевых потоков и способы измерения плотности селевой массы и расхода воды в горных реках и селей: двухчастотный доплеровский измеритель уровня и скорости селевого потока, сейсмический способ измерения расхода селя, магнитометрический способ измерения плотности селевой массы. На эти приборы и способы измерения получены Авторские свидетельства СССР (А.с. 698505

СССР, М.Кл.2 G 01 S 9/04. Доплеровский измеритель дальности /Б.С. Степанов, В.М. Силлер, П.И. Коваленко и В.А. Красюков (СССР)/. – №2585600/18-09; Заявлено 01.03.78; А.с. 623136 СССР, М.Кл.2 G 01 N 9/00. Способ измерения плотности селевых потоков /Б.С.Степанов и Т.С.Степанова (СССР)/. – №2400770/18-25; Заявлено 23.08.76; Опубл. 05.09.78; Бюл. №33; А.с. 539220 СССР, М.Кл.2 G 01 F 1/66. Способ измерения расхода водных, водных наносонесущих и селевых потоков в необорудованных руслах / Б.С. Степанов, Ю.Б. Виноградов, В.А.Красюков (СССР)/. – №2127532/10; Заявлено 17.04.75; Опубл. 15.12.76; Бюл. №46; Красюков В.А. и др., 1976).

Заведующий Отдела селевых потоков КазНИГМИ доктор технических наук Ю.Б. Виноградов, осознавая чрезвычайную сложность природы селевых явлений, привлек к работе в Отдел селевых потоков специалистов различного профиля: гидрологов, метеорологов, гидрогеологов, геологов, гляциологов, геофизиков, биологов, геодезистов, физиков, математиков, радиотехников, переводчиков.

В 1972...1978 годы под руководством Ю.Б. Виноградова и при его непосредственном участии на Чемолганском полигоне впервые в мире проводились эксперименты по искусственному воспроизведению селей в натуральном масштабе. Цель этих экспериментов – выявить механизмы и условия, определяющие основные характеристики селевого потока (скорость, расход и объем) и селевой массы (плотность, вязкость и пластичность) (Виноградов Ю.Б., 1976; Степанов Б.С., 1982).

В результате экспериментов было установлено, что:

взаимодействие водного потока с рыхлообломочными породами может приводить к формированию селя с плотностью селевой массы более 2400 кг/м^3 (ранее считалась, что плотность не может превышать 1690 кг/м^3);

средняя скорость движения твердой и жидкой (водной) компонент селевой массы равны (ранее считалось, что скорость жидкой компоненты селевого потока превышает скорость движения твердой компоненты);

твердая компонента селевой массы перемещается за счет собственной потенциальной энергии (а не транспортируется жидкой компонентой, как считалось ранее);

при плотности твердой компоненты равной 2650 кг/м^3 , плотность селевой массы равная 1452 кг/м^3 разграничивает паводок, транспортирующий наносы, от селя.

Это позволило разработать методы расчета характеристик селей, необходимых для проектирования селезащитных сооружений.

Результаты экспериментов по воспроизведению селей в натуральном масштабе на Чемолганском полигоне получили мировую значимость и внесли большой вклад в науку о селях. Об экспериментах снят научно-документальный фильм «Слово о селевом потоке» (<https://www.youtube.com/watch?v=r1YNHqqGjPo>).

С 1976 года Ю.Б. Виноградов организовал периодическое издание сборников «Селевые потоки». С 1976 по 1992 годы было выпущено 12 сборников, где публиковались сотрудники Отдела селевых потоков и других организаций.

Сотрудниками Национальной гидрометеорологической службы Казахстана и Швейцарского федерального института исследований леса, снега и ландшафта (WSL) подготовлена на английском языке публикация «Natural Debris Flows and Field Experiments in Kazakhstan», содержащая материалы статей о Чемолганских экспериментах и катастрофических селях в Заилийском (Иле) Алатау, опубликованных в сборниках «Селевые потоки».

В 1976 году было издано «Руководство по изучению селевых потоков» (Руководство по изучению селевых потоков, 1976). Назначением «Руководства» является внедрение в практику работ селевых партий и станций единообразных и наиболее совершенных методов полевых исследований и наблюдений, обеспечивающих более полное изучение формирования селевых потоков.

В 1977 году издана монография Виноградова Ю.Б. «Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки» (Виноградов Ю.Б., 1977).

В 70...80-е годы под руководством Б.С. Степанова в Отделе селевых потоков КазНИГМИ большое внимание уделялось разработке методов расчета вязкости и пластичности селевой массы, размеры частиц твердой компоненты которой могли отли-

чаться в миллионы раз, гидравлической крупности частиц, а также средств измерений. По результатам исследований издана монография Степанова Б.С. «Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений» (Степанов Б.С., 1982).

Результаты анализа формирования, движения и деградации селей, полевых и лабораторных исследований позволили профессору доктору географических наук Б.С. Степанову теоретически прийти к выводу о неоднозначной зависимости плотности селевого потока от уклона пути его движения и, как следствие, открыть неизвестное ранее природное явление – скачкообразное конечное увеличение плотности селевой массы при бесконечно малом увеличении угла наклона пути движения селя (эффект Степанова) (Степанов Б.С., 1992; Stepanov B.S., Yafyazova R.K., 2017; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2022). Разработанная им теория существования селевой массы позволяет осуществлять расчет характеристик селей в сложных ситуациях: слияние селя с водным потоком; селем, имеющим другой расход и плотность селевой массы; изменение ширины и глубины потока, гранулометрического состава твердой компоненты селеформирующих пород.

В 1990 году издан руководящий документ «Руководство селестокковыми станциями и гидрографическим партиями» (РД 52.30.238-89) (Руководство селестокковыми станциями и гидрографическим партиями, 1990).

В 1991 году издана монография Степанова Б.С. и Степановой Т.С. «Механика селей: Эксперимент, теория, методы расчета» (Степанов Б.С., Степанова Т.С., 1991).

В 1996 году издана «Карта селевой опасности территории Республики Казахстан» масштаба 1:1 000 000 (по заказу ГУ «Казселезащита»).

В 1998 году издано «Руководство по организации и проведению работ по изучению селей на территории Республики Казахстан» (Руководство по организации и проведению работ по изучению селей на территории Республики Казахстан, 1998).

В 2001 году выявлен и описан механизм формирования дождевых селей в рывинах (Степанов Б.С. и др., 2001; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014).

В Национальной гидрометеорологической службе Казахстана в период с 1998 по 2010 годы разрабатывались метод краткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для северного склона Заилийского (Иле) Алатау и метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2017). Принципиальным отличием метода сверхкраткосрочного прогноза селей является то, что прогноз селей основывается на информации об уже идущих осадках, в то время как более ранние методы были основаны на прогнозе осадков. Использование метода сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы (метод Степанова-Яфязовой) в практической деятельности Казгидромета показало, что его оправдываемость в десятки раз превышает оправдываемость метода краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса, использовавшегося ранее в Казгидромете.

РГП «Казгидромет» разработал критерии цветовых кодов (желтый, оранжевый, красный) селевой опасности дождевого генезиса, что значительно упрощает работу ДЧС г. Алматы и ГУ «Казселезащита», связанную с предупреждением населения и органы государственного управления о селевой опасности.

В конце 20 – начале 21 веков проведены научные исследования в Северном Тянь-Шане. Изучение процессов зарождения, развития и деградации селей, влияния изменения климата на селевую активность позволило доктору технических наук Р.К. Яфязовой разработать геолого-геоморфологический метод определения генезиса отложений на конусах выноса, что сделало возможным оценить изменение селевой активности в прошлом и предсказать ее изменение в условиях изменяющегося климата – основу стратегии хозяйственной деятельности и защиты населения на ближайшие десятилетия (Яфязова Р.К., 2009). Это позволило ей заложить основы палеоселеведения – нового научного направления в селеведении, хотя корифей селеведения Ю.Б. Виноградов еще в 1977 году в книге «Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки» писал: «Селеве-

дение как наука переживает младенческий возраст, что же касается «палеоселеведения», то еще неизвестно, будет ли оно создано вообще» (Виноградов Ю.Б., 1977). Результаты этих исследований были использованы при подготовке Второго Национального сообщения Республики Казахстан конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (Второе Национальное сообщение Республики Казахстан конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 2009).

В 2006 году была предложена концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2006).

В 2007 году издана монография Яфязовой Р.К. «Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации» (Яфязова Р.К., 2007). Впервые был изучен и описан механизм формирования водоледяных селей, образующихся на горных реках при резком понижении температуры воздуха, разработан метод прогноза водоледяных селей для северного склона Иле Алатау (Степанов Б.С. и др., 2009; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014).

В 2009 году Яфязова Р.К. защитила докторскую диссертацию на тему «Оценка селевой активности и прогнозирование ее изменения в условиях глобального потепления климата» (Яфязова Р.К., 2009) (Яфязова Р.К. единственная в Казахстане женщина доктор наук по селевой проблеме).

Оценка изменения гидрологического режима рек, обусловленного гидротехническими сооружениями (в равной мере это относится и к изменению характеристик селей во времени и пространстве), является обязанностью Гидрометслужбы. Это позволило Гидрометслужбе рекомендовать использование энергии водного потока при контролируемом опорожнении селеопасных озер. В 1977 году сотрудниками Отдела селевых потоков КазНИГМИ была предложена методика опорожнения селеопасного озера на леднике Жарсай, прорыв которого в 1963 году привел к формированию катастрофического селя. Прорыв этого озера и формирование катастрофического селя привело к многочисленной гибели людей, нанесло большой ущерб г. Иссык (г. Есик).

Многолетние наблюдения за озером №6 на леднике Маншук Маметовой в верховьях р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы) позволили заключить, что оно стало наиболее опасным объектом в Заилийском (Иле) Алатау. Неотложные работы по превентивному опорожнению озера №6 проводились в соответствии с распоряжением Премьер-министра Республики Казахстан от 29 апреля 1997 года. Руководство подготовительными работами и реализация мероприятий непосредственно на месте работ возлагалась на ГУ «Казселезащита» и Комитет Республики Казахстан по чрезвычайным ситуациям. Основная идея работ, предложенная Гидрометслужбой, заключалась в использовании природной энергии воды (эрозионного размыва грунта, высокой транспортирующей способности потока) для формирования искусственного эрозионного канала (вреза) в теле морены, постепенное вхождение вresa в озеро и контролируемый сброс озерных вод (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). В итоге выполненных аварийных работ основная задача по ликвидации селевой угрозы в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы) была решена.

В связи с увеличением опасности прорыва озера №6 в 2010 году сотрудники Гидрометслужбы рекомендовали проложить тракторную тропу на морене к селеопасному озеру №6 и использовать тяжелую землеройную технику и сифоны при опорожнении селеопасного озера (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Эти рекомендации были внедрены ГУ «Казселезащита» и получили положительную оценку.

В 2014 году Степанов Б.С. и Яфязова Р.К. подготовили монографию «Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: селевые процессы и селетехнические сооружения» (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014) (по заказу ТОО «Институт географии» АО «ННТХ “Парасат”»).

В 2015 году Степанов Б.С. и Яфязова Р.К. опубликовали в журнале «Гидрометеорология и экология» статью «Сдвиг парадигмы – этап развития селеведения» (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2015), в которой приведены примеры новизны и коренного изменения важнейших представлений о селевых процессах, в частности:

- взаимодействие водного потока с твердой составляющей при определенных условиях может приводить к плотности селевой массы

близкой к плотности твердой составляющей;

- сель с максимальной плотностью селевой массы, обретенной на большом уклоне, может перемещаться без распада и остановки на малом уклоне;
- открыто скачкообразное увеличение плотности селя при превышении критического значения плотности селевой массы;
- скорость движения твердой и жидкой составляющих селевой массы в среднем одинакова;
- разработан геолого-геоморфологический метод для определения генезиса конуса выноса;
- доказано существование и описан механизм формирования водоледяных селей;
- разработан метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса.

Сотрудниками РГП «Казгидромет» предложены основные принципы организации мониторинга селевой опасности (Яфязова Р.К., 2018).

В 2018 году сотрудники РГП «Казгидромет» принимали участие в написании монографии «Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: основы мониторинга в Иле Алатау» (Медеу А.Р. и др., 2018).

На протяжении десятилетий проектировщики селезащитных сооружений нуждались в замене существующих нормативных правовых актов по защите от опасных геологических и гидрологических воздействий.

Специалисты Национальной гидрометеорологической службы Казахстана приняли активное участие в разработке свода правил СП РК 2.03-108-2017 «Проектирование селезащитных сооружений» (Свод правил Республики Казахстан СП РК 2.03-108-2017 «Проектирование селезащитных сооружений», 2017), в частности, было предложено:

- при определении высоты плотины (при наличии водосброса-селесброса) для грязекаменных селей рекомендуется учитывать уравнильный уклон селевых отложений (для наносоводных селей уравнильный уклон равен нулю) по методике, предложенной сотрудниками РГП «Казгидромет»;
- при определении высоты глухих селезадерживающих плотин из грунтовых материалов уравнильный уклон

отложений принимается равным нулю;

- учет уравнивающего уклона в размере $(0,5-0,7)tg\alpha$, где $tg\alpha$ – уклон естественного русла на участке селехранилища, не допускается;
- конструкция и материал клетки габиона должны соответствовать наиболее крупным фракциям твердой компоненты селевой массы, так как при разрушении габиона его содержимое вовлекается в селевой процесс, увеличивая плотность селевой массы, а также расход и объем селя;
- использование габионов для укрепления речных берегов без укрепления дна русла, при котором его углубление исключается, не допускается;
- в многоярусных водоприемниках для осмотра и ремонта водосбросных галерей и туннелей перед решетками должны предусматриваться пазы для установки шандор;
- при наличии в теле плотины транспортных или сквозных технологических туннелей либо при наличии пролетов ниже гребня для проезда транспорта плотины обязательно должны снабжаться затворами-воротами, рассчитанными на давление селевых масс;
- в ходе превентивного опорожнения селеопасных озер рекомендуется использование бульдозера и сифона (системы сифонов). Сифон предназначен для откачки воды из озера, его производительность должна превышать поступление воды в озерную котловину и др.

Сотрудниками Национальной гидрометеорологической службы Казахстана после прохождения катастрофических селей в 1963 году (Земс А.Э., 1976), в 1973 году (Виноградов Ю.Б. и др., 1976), в 1977 году (Попов В.И. и др., 1980; Лаптев В.И., 1980), в 1982 году (Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П., 1985), в 1988 году (Хайдаров А.Х., Шевырталов Е.П., 1989), в 2006 году (Яфязова Р.К., 2005), в 2015 году (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016) были установлены причины формирования селей, определены их характеристики, даны рекомендации по уменьшению ущерба, наносимого селями.

Насколько значимой и успешной была работа Отдела селевых потоков в Национальной гидрометеорологической службе Казахстана можно судить по количеству сотрудников, имевших высокую квалификацию: 16 кандидатов наук и 3 доктора наук.

В 2022 году в Казгидромете создано Управление исследования селевых процессов и прогнозирования селей, сотрудники которого ведут мониторинг условий формирования селей дождевого генезиса; подготовку и своевременный выпуск консультаций, прогнозов, штормовых предупреждений о селевой опасности дождевого генезиса; научно-исследовательские работы по разработке и совершенствованию методов прогноза селей дождевого и водолеяного генезисов для селеопасных районов Республики Казахстан.

В селеопасный период (с мая по сентябрь) Управление выпускает «Ежедневный бюллетень селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Казахстана», сверхкраткосрочные прогнозы катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы и штормовые предупреждения. Информация о селевой опасности предоставляется Государственным органам управления различного уровня и населению Республики Казахстан.

В соответствии с Экологическим кодексом Республики Казахстан только Национальная гидрометеорологическая служба, имеющая государственную наблюдательную сеть, имеет право и обязанность давать штормовые предупреждения, несет особую ответственность.

Дальнейшее усовершенствование численных методов прогноза погоды для горной территории, установка автоматических метеорологических станций в селеопасных бассейнах во всех высотных зонах позволят повысить качество прогнозов селей дождевого генезиса. Наложение фактических и прогнозируемых осадков в горной местности на интерактивную карту селеопасных районов в реальном времени сделает прогноз селей дождевого генезиса более точным и конкретным. Это требует специально разработанных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 539220 СССР, М.Кл.2 G 01 F 1/66. Способ измерения расхода водных, водных наносонесущих и селевых потоков в необорудованных руслах / Б.С. Степанов, Ю.Б. Виноградов, В.А. Красюков (СССР). – №2127532/10; Заявлено 17.04.75; Опубл. 15.12.76; Бюл. №46.
2. А.с. 623136 СССР, М.Кл.2 G 01 N 9/00. Способ измерения плотности селевых потоков / Б.С. Степанов и Т.С. Степанова (СССР). – №2400770/18

- 25; Заявлено 23.08.76; Опубл. 05.09.78; Бюл. №33.
3. А.с. 698505 СССР, М.Кл.2 G 01 S 9/04. Доплеровский измеритель дальности / Б.С. Степанов, В.М. Силлер, П.И. Коваленко и В.А. Красюков (СССР)/. – №2585600/18-09; Заявлено 01.03.78.
4. Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 154 с.
5. Виноградов Ю.Б. Искусственное воспроизведение селевых потоков на экспериментальном полигоне в бассейне р. Чемолган // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 3–7.
6. Виноградов Ю.Б., Земс А.Э., Хонин Р.В. Селевой поток 15 июля 1973 г. на Малой Алматинке // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 60–73.
7. Второе Национальное сообщение Республики Казахстан конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Министерство охраны окружающей среды Республики Казахстан, – Астана, 2009 – 192 с.
8. Земс А.Э. Некоторые количественные характеристики Жарсайского селя 1963 г. на р. Иссык // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 75–85.
9. Исследование селевого паводка, прошедшего 8–9 июля 1950 г. в бассейне р. Большая Алматинка: Технический отчет / Алма-Атинская научно-исследовательская гидрологическая обсерватория. – Инв. №7/854. – Алма-Ата, 1950. – 147 с. (архив РГП «Казгидромет»).
10. Красюков В.А., Степанов Б.С., Степанова Т.С. Приборы для неконтактных измерений некоторых характеристик селевых потоков // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 203–213.
11. Лаптев В.И. Описание селевого потока 3–4 августа 1977 г. в бассейнах рек Кумбельсу и Большой Алматинки // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №5. – С. 55–58.
12. Литовченко А.Ф. Экспериментальное изучение элементов водного баланса горных водосборов. – К.: Вища школа головное издательство, 1986. – 188 с.
13. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Т. 2, Ч. 2: Основы мониторинга в Иле Алатау. – Алматы, 2018. – 288 с.
14. Попов В.И., Степанов Б.С., Мочалов В.П. и др. Селевые явления 3–31 августа 1977 г. в бассейне р. Большая Алматинка // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №4. – С. 57–63.
15. Руководство по изучению селевых потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 142 с.
16. Руководство по организации и проведению работ по изучению селей на территории Республики Казахстан. – Алматы, 1998. – 143 с.
17. Руководство селестокосым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. – М.: Гидрометеоздат, 1990. – 198 с.
18. Свод правил Республики Казахстан СП РК 2.03-108-2017 «Проектирование селезащитных сооружений» (нормативно-технический документ). – Астана. – 2017.
19. Степанов Б.С. Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений (монография) // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеоздат, 1982. – Вып. 79. – 136 с.
20. Степанов Б.С. Явление скачкообразного изменения плотности селевых потоков, заявка на открытие // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1992. – №12. – С. 141–172.
21. Степанов Б.С., Степанова Т.С. Механика селей: Эксперимент, теория, методы расчета». – М.: Гидрометеоздат, 1991. – 379 с.
22. 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.
23. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Состояние проблемы краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2. – С. 114–125.
24. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №1. – С. 67–79.
25. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Метод сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4. – С. 71–83.
26. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Особенности селевых процессов 23 июля 2015 г. в бассейне р. Каргалинка // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №2. – С. 79–85.
27. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Сдвиг парадигмы – этап развития селеведения // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №1. – С. 50–74.
28. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Т. 3. Селевые процессы и селетехнические сооружения. – Алматы, 2014. – 434 с.
29. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Явление скачкообразного увеличения плотности селевой массы – следствие неоднозначной ее зависимости от уклона пути движения селя // Гидрометеорология и экология. – 2022. – №2. – С. 59–77.
30. Степанов Б.С., Яфязова Р.К., Жданов В.В. Водолеяные сели. К механизму формирования водолеяных конструкций // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №3. – С. 143–152.
31. Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П. Некоторые характеристики гляциального селя, прошедшего в бассейне р. Сарканд // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – №9. – С. 132–138.
32. Хайдаров А.Х., Шевырталов Е.П. Селевые явления в песках Жаманкум 28–29 января 1988 г. // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1989. – №11. – С. 49–59.
33. Яфязова Р.К. О катастрофических явлениях на горных реках в зимний период // Гидрометеорология и экология. – 2005. – №4. – С. 114–124.
34. Яфязова Р.К. Основные принципы организации мониторинга селевой опасности. В кн.: Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Т.2. Ч.2. Основы мониторинга в Иле Алатау (Медеу А.Р. и др.). – 2018. – С. 11–19.
35. Яфязова Р.К. Оценка селевой активности и прогнозирование ее изменения в условиях глобального потепления климата: Автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Алматы, 2009. – 36 с.
36. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.
37. Яфязова Р.К. Ретроспективный анализ селевой активности. В кн.: Селевые явления

Юго-Восточного Казахстана: Т.2. Ч.2. Основы мониторинга в Иле Алатау (Медеу А.Р. и др.). – 2018. – С. 90–95. 38. Stepanov, B.S. & Yafyazova, R.K. (2017): Influence of Particles Fall Velocity, Archimedean's Force, and Depth of Debris Flow on a Relationship between Ultimate Density of Debris-Flow Mass and Channel Slope. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 10(2): 74–83.

REFERENCES

1. A.s. 539220 SSSR, M.K12 G 01 F 1/66. Sposob izmereniya raskhoda vodnyh, vodnyh nanosonesushchih i selevyh potokov v neoborudovannyh ruslah / B.S. Stepanov, YU.B. Vinogradov, V.A. Krasnyukov (SSSR). – №2127532/10; Zayavleno 17.04.75; Opubl. 15.12.76; Byul. №46.
2. A.s. 623136 SSSR, M.K12 G 01 N 9/00. Sposob izmereniya plotnosti selevyh potokov / B.S. Stepanov i T.S. Stepanova (SSSR). – №2400770/18-25; Zayavleno 23.08.76; Opubl. 05.09.78; Byul. №33.
3. A.s. 698505 SSSR, M.K12 G 01 S 9/04. Doplerovskij izmeritel' dal'nosti / B.S. Stepanov, V.M. Siller, P.I. Kovalenko i V.A. Krasnyukov (SSSR). – №2585600/18-09; Zayavleno 01.03.78.
4. Vinogradov YU.B. Glyacial'nye proryvnye pavodki i selevye potoki. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 154 s.
5. Vinogradov YU.B. Iskusstvennoe vosproizvedenie selevyh potokov na eksperimental'nom poligone v bassejne r. CHemolgan // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 3–7.
6. Vinogradov YU.B., Zems A.E., Honin R.V. Selevoy potok 15 iyulya 1973 g. na Maloj Almatinke // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 60–73.
7. Vtoroe Nacional'noe soobshchenie Respubliki Kazahstan konferencii storon Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata, Ministerstvo ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan, – Astana, 2009 – 192 s.
8. Zems A.E. Nekotorye kolichestvennye karakteristiki ZHarsajnskogo selya 1963 g. nar. Issyk // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 75–85.
9. Issledovanie selevogo pavodka, proshedshego 8–9 iyulya 1950 g. v bassejne r. Bol'shaya Almatinka: Tekhnicheskij otchet / Alma-Atinskaya nauchno-issledovatel'skaya gidrologicheskaya observatoriya. – Inv. №7/854. – Alma-Ata, 1950. – 147 s. (arhiv RGP «Kazgidromet»).
10. Krasnyukov V.A., Stepanov B.S., Stepanova T.S. Pribory dlya nekontaktnykh izmerenij nekotorykh karakteristik selevyh potokov // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 203–213.
11. Laptsev V.I. Opisanie selevogo potoka 3–4 avgusta 1977 g. v bassejnah rek Kumbel'su i Bol'shoj Almatinki // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1980. – №5. – S. 55–58.
12. Litovchenko A.F. Eksperimental'noe izuchenie elementov vodnogo balansa gornyh vodosborov. – K.: Vishcha shkola golovnoe izdatel'stvo, 1986. – 188 s.
13. Medeu A.R., Blagoveshchenskij V.P., Bajmoldaev T.A., Kirenskaya T.L., Stepanov B.S. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T. 2, CH. 2: Osnovy monitoringa v Ile Alatau. – Almaty, 2018. – 288 s.
14. Popov V.I., Stepanov B.S., Mochalov V.P. i dr. Selevye yavleniya 3–31 avgusta 1977 g. v bassejne r. Bol'shaya Almatinka // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1980. – №4. – S. 57–63.
15. Rukovodstvo po izucheniyu selevyh potokov. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – 142 s.
16. Rukovodstvo po organizacii i provedeniyu rabot po izucheniyu selej na territorii Respubliki Kazahstan. – Almaty, 1998. – 143 s.
17. Rukovodstvo selestokovym stanciyam i gidrograficheskim partiyam. Vypusk 1. Organizaciya i provedenie rabot po izucheniyu selej. – M.: Gidrometeoizdat, 1990. – 198 s.
18. Svod pravil Respubliki Kazahstan SP RK 2.03-108-2017 «Proektirovanie selezashchitnyh sooruzhenij» (normativno-tekhnicheskij dokument). – Astana. – 2017.
19. Stepanov B.S. Osnovnye karakteristiki selevyh potokov i selevoj massy. Metody izmerenij (monografiya) // Trudy KazNIGMI. – M.: Gidrometeoizdat, 1982. – Vyp. 79. – 136 s.
20. Stepanov B.S. YAvlenie skachkoobraznogo izmeneniya plotnosti selevyh potokov, zayavka na otkrytie // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1992. – №12. – S. 141–172.
21. Stepanov B.S., Stepanova T.S. Mekhanika selej: Eksperiment, teoriya, metody rascheta». – M.: Gidrometeoizdat, 1991. – 379 s.
22. Stepanov B.S., Hajdarov A.H., Yafyazova R.K. Mekhanizmy, privodyashchie k formirovaniyu selej dozhdevogo genezisa v vysokogornoj zone Zailijskogo Alatau // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2001. – №1–2. – S. 74–81.
23. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Sostoyanie problemy kratkosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genezisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2017. – №2. – S. 114–125.
24. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Konceptiya zashchity ot selej g. Almaty v usloviyah izmenyayushchegosya klimata // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2006. – №1. – S. 67–79.
25. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Metod sverhkratosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genezisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2016. – №4. – S. 71–83.
26. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Osobennosti selevyh processov 23 iyulya 2015 g. v bassejne r. Kargalinka // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2016. – №2. – S. 79–85.
27. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Sdvig paradigmy – etap razvitiya selevedeniya // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2015. – №1. – S. 50–74.
28. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T. 3. Selevye processy i seletekhnicheskie sooruzheniya. – Almaty, 2014. – 434 s.
29. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. YAvlenie skachkoobraznogo uvelicheniya plotnosti selevoj massy – sledstvie neodnoznachnoj ee zavisimosti ot uklona puti dvizheniya selya // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2022. – №2. – S. 59–77.
30. Stepanov B.S., Yafyazova R.K., Zhdanov V.V. Vodoledyanye seli. K mekhanizmu formirovaniya vodoledyanykh konstrukcij // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2009. – №3. – S. 143–152.
31. Tihomirov YU.P., SHEvyrtalov E.P. Nekotorye karakteristiki glyacial'nogo selya, proshedshego v bassejne r. Sarkand // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1985. – №9. – S. 132–138.

32. Hajdarov A.H., Shevyrталov E.P. Selevye yavleniya v peskah ZHamankum 28–29 yanvary 1988 g. // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1989. – №11. – S. 49–59.
33. YAFyazova R.K. O katastroficheskikh yavleniyah na gornyy rekah v zimnij period // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2005. – №4. – S. 114–124.
34. YAFyazova R.K. Osnovnye principy organizacii monitoringa selevoj opasnosti. V kn.: Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T.2. CH.2. Osnovy monitoringa v Ile Alatau (Medeu A.R. i dr.). – 2018. – S. 11–19.
35. YAFyazova R.K. Ocenka selevoj aktivnosti i prognozirovanie ee izmeneniya v usloviyah global'nogo potepeniya klimata: Avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk. – Almaty, 2009. – 36 s.
36. YAFyazova R.K. Priroda selej Zailijskogo Alatau. Problemy adaptacii. – Almaty, 2007. – 158 s.
37. YAFyazova R.K. Retrospektivnyj analiz selevoj aktivnosti. V kn.: Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T.2. CH.2. Osnovy monitoringa v Ile Alatau (Medeu A.R. i dr.). – 2018. – S. 90–95.
38. Stepanov, B.S. & Yafyazova, R.K. (2017): Influence of Particles Fall Velocity, Archimedean's Force, and Depth of Debris Flow on a Relationship between Ultimate Density of Debris-Flow Mass and Channel Slope. International Journal of Erosion Control Engineering, 10(2): 74–83.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТТІҢ ЕЛДІҢ СЕЛ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ ҮЛЕСІ

Б.С. Степанов* география ғылымдарының докторы

«Қазгидромет» РМК, Алматы, Қазақстан
E-mail: bs.stepanov@gmail.com

Бұл мақалада Қазақстанның Ұлттық гидрометеорологиялық қызметінің селдерден келтіретін залалды азайту мақсатында жүзеге асырылған селдердің пайда болуын, дамуын және деградациясын зерделеу жөніндегі көп жылғы кезеңдегі ғылыми қызметі қаралып, талданды. Жауын-шашынның түсу ерекшеліктері, жер үсті және мұзшілік су айдындарының босатылуы, борпылдақ жыныстардың минералогиялық және гранулометриялық құрамы, селді қалыптастырудың геоморфологиялық жағдайлары, селдердің қайталануы мен сипаттамалары зерттелді. Селдің пайда болуын математикалық модельдеуде қолданылатын сел массасының тұтқырлығы мен икемділігін есептеу әдістері жасалды. Топырақтың алдын-ала ылғалдануы, нөлдік изотерма мен маусымдық қар сызығының орналасуы, ағымдағы нақты метеорологиялық ақпарат туралы мәліметтерге негізделген жаңбыр генезисті апатты сел жағдайларын өте қысқа мерзімді болжау әдісі құрастырылды. Бұл әдістің ақталушылығы бұрын қолданылған жаңбыр генезисті селдерін қысқа мерзімді болжау әдісінің ақталушылығынан ондаған есе көп. Сел сипаттамаларын есептеу сел массасының тығыздығының сел қозғалысының көлбеуіне екіұшты тәуелділігін ашуға негізделген. Қазақстан Республикасы аумағының сел қауіптілігі картасы әзірленді. Климаттың өзгеруі жағдайында Алматы қаласын селдерден қорғау тұжырымдамасы ұсынылды. Шығарылу конусының генезисін анықтаудың геологиялық-геоморфологиялық әдісі әзірленді, ол таулы және тау бөктерінде орналасқан аумақтардың урбанизация қауіптілігін бағалау бойынша жұмысты оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сел, сел туралы ғылым, болжау әдісі, сел қауіптілік картасы, сел және сел массасының сипаттамаларын есептеу, селден қорғау құрылыстарын жобалау

CONTRIBUTION OF THE NATIONAL HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN TO THE COUNTRY'S DEBRIS-FLOW SECURITY

B.S. Stepanov* doctor of Geographical Sciences

RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan
E-mail: bs.stepanov@gmail.com

In this paper, the scientific activities of the National Hydrometeorological Service of Kazakhstan to study the origin, development and degradation of debris flows, carried out with the aim of reducing the damage caused by debris flows, are presented over a long period.

The features of precipitation, emptying of surface and intraglacial reservoirs, mineralogical and granulometric compositions of debris rocks, geomorphological conditions of debris flow formation, recurrence and characteristics of debris flows were studied. Methods for computation of the viscosity and plasticity of debris-flow mass, used in mathematical modeling of debris flow formation have been developed. A method for ultra-short-term forecasting of catastrophic debris flows caused by rainfall, based on data on preliminary soil moisture, the position of the zero isotherm and seasonal snow line, and current actual meteorological information has been developed. The feasibility of this method is tens of times greater than the feasibility of the method for short-term forecasting of debris flows caused by rainfall, which was used previously. The computation of the characteristics of debris flows is based on the discovery of an ambiguous dependence between the density of debris-flow mass and the slope of way of debris flow. A debris-flow hazard map for the territory of the Republic of Kazakhstan has been developed. A concept for protection against debris flows of Almaty city under climate changing has been proposed. A geological and geomorphological method has been developed for determining the genesis of fan, which allows optimizing the work on assessing the risk of urbanization of territories located in the mountain and foothill zones.

Key words: debris flow, debris flow science, forecast method, debris-flow hazard map, computation of characteristics of debris flows and debris-flow mass, design of debris-flow protection structures

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Степанов Борис Сергеевич - профессор, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, Абая 32, bs.stepanov@gmail.com

Степанов Борис Сергеевич - профессор, география ғылымдарының докторы, «Казгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді болжау басқармасы жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Абай 32, bs.stepanov@gmail.com

Boris Stepanov - professor, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting of RSE «Kazhydromet», Almaty, Abay St. 32, bs.stepanov@gmail.com