

УДК 551.311.8:551.524.73

Доктор геогр. наук Б.С. Степанов *

Доктор техн. наук Р.К. Яфязова

ОГЛЯНУТЬСЯ, ЧТОБЫ ПРЕДСКАЗАТЬ*СЕЛЬ, ВОДНЫЙ ПОТОК, КОНУС ВЫНОСА, ЛЕДНИКОВАЯ ЭПОХА, МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ, КЛИМАТ, СВЕРХДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ, ПАЛЕОСЕЛЕВЕДЕНИЕ, СТРАТИГРАФИЯ, ДЕНУДАЦИЯ*

Сель – многофакторный процесс. Одним из главных факторов селеобразования является климат. Относительно небольшое его изменение может кардинально отражаться на селевой активности в горных районах средних широт, несущих в настоящее время оледенение. Данные об изменении климата и селевой активности в плейстоцене позволяют своевременно подготовиться к резкой активизации селей в 21 веке, вызванной глобальным изменением климата.

Селеведение как наука переживает младенческий возраст, что же касается «палеоселеведения», то ещё не известно, будет ли оно создано вообще.

Ю.Б. Виноградов

Выдающаяся роль селей в денудации стала осознаваться только в последние десятилетия. Так, один из основателей селеведения профессор Ю.Б. Виноградов писал: «... природа использует селевые потоки в качестве одного из основных агентов денудации» [2]. К такому же выводу, на основании сравнения объёма выноса наносов селями и твёрдого стока рек СССР и земного шара, пришёл известный географ профессор МГУ К.С. Лосев: «... вынос наносов селями с самого верхнего уровня накопления наносов сравним с твёрдым стоком всех рек земного шара, и может быть больше твёрдого стока всех рек СССР, ... сели следует рассматривать как важнейший природный механизм перемещения рыхлых отложений в горных странах с верхних на нижние уровни накопления ...» [6].

Важнейшей особенностью денудации, связанной с селевыми процессами, является длительная концентрация (длящаяся в ледниковые эпохи десятки тысяч лет в высоких и средних широтах Земли) рыхлообло-

* Казгидромет, г. Алматы

мочных пород в верхнем ярусе накопления, и лавинообразный перенос их селями на предгорную равнину (средний ярус накопления) в межледниковые эпохи.

Накопление рыхлообломочных пород в верхнем ярусе происходит в результате деятельности ледников, каменных глетчеров, оползней, обвалов, небольших по расходу и объёму селей, осыпей и других склоновых процессов. Перемещение наносов из верхнего яруса накопления на средний, в условиях современно климата, осуществляется преимущественно селями в средних широтах, а ледниками – в высоких. В ледниковые эпохи, на территориях с морским климатом, наносы из верхнего яруса накопления на средний и нижний ярусы могут перемещаться и ледниками. Наглядным примером тому служат морены на среднем ярусе, примыкающие к северному склону Альп.

Отложения, образующие конусы выноса, на большинстве инженерно-геологических карт идентифицировались и идентифицируются до настоящего времени как флювиогляциальные, возникавшие в периоды деградации покровного и полупокровного оледенений, когда в результате таяния ледников на основных горных реках формировались паводки, способные перемещать такие глыбы на относительно малых уклонах. В настоящее время доказано, что конусы выноса, примыкающие к северному склону Иле Алатау, образованы в основном селевыми отложениями [8].

Общеизвестно, что основными факторами селеформирования являются: геологический, гидрогеологический, геоморфологический, климатический, гидрометеорологический, гляциологический, почвенно-растительный и антропогенный. Однако, в определённых ситуациях, каждый из этих факторов может играть главенствующую роль.

В общем случае среди факторов, определяющих современную активность катастрофических селей, главенствующим и наиболее динамичным является климатический. Поэтому при сверхдолгосрочном прогнозировании селей с большой степенью достоверностью можно утверждать, что и в ближайшее столетие геологический, геоморфологический и другие факторы селеформирования (за исключением антропогенного) будут оставаться вторичными по отношению к климатическому фактору.

Имеющиеся данные о селевой активности за последний миллион лет свидетельствуют о том, что она изменялась практически от нуля до значений, в тысячи и более раз превышающих среднее значение за последние 100 тыс. лет.

В последнем столетии возрастание селевой активности привело к тому, что эта проблема в Казахстане приобрела общегосударственное значение. В связи с вышесказанным, представляется весьма актуальным утверждение, прозвучавшее в докладе профессора К.Я. Кондратьева на Всемирной конференции по изменению климата [4]: «... Проблема состоит не столько в том, чтобы обеспечить детальный прогноз климата в будущем, сколько в необходимости проанализировать чувствительность современного общества и его инфраструктур к возможным изменениям климата. ... В этой связи ценность палеоданных, как предиктора климата, может быть более высокой, чем условных сценариев, полученных на основе численного моделирования».

К достижениям активно развивающегося палеоселеведения можно отнести результаты исследований, выполненных в КазНИИМОСК и РГП «Казидромет» в последние десятилетия. Цель палеоселеведения – реконструкция физико-географических условий прошлого для объяснения их современного состояния и прогноза развития в будущем.

Основные задачи:

- Реконструкция распространения по площади вещественных и генетических разностей осадков.
- Выяснение физико-географических условий прошлого, обусловивших строение древних морен и конусов выноса.
- Систематизация полученных результатов в виде палеогеографических карт, т.е. конкретная география для тех или иных районов и отрезков геологического времени.
- Прогнозирование изменения селевой активности во времени и пространстве, вызванное изменением климата и характеристик других факторов селеобразования.

Под селевой активностью подразумевается объём селевой массы, отложившейся на конусе выноса за единицу времени. В качестве единицы времени могут выступать 10, 100, 1000 и более лет. Сложность оценки селевой активности заключается в определении возраста и генезиса отложений (аллювий или пролювий) на конусе выноса и рыхлообломочных пород, слагающих морены.

Бурение скважин на ледниках Антарктиды и в донных отложениях океанов позволило получить достоверные данные об изменении климата Земли за последние 800 тыс. лет. Установлено, что на протяжении плейстоцена климат претерпевал значительные изменения (рис.) [9]. Среднего-

довая температура воздуха в Антарктиде 146,2 тыс. лет назад опускалась на 9 °С, а 132,6 тыс. лет назад поднималась на 2,7 °С относительно современного значения [10]. Эти данные хорошо согласуются с результатами, полученными при бурении глубоководных скважин.

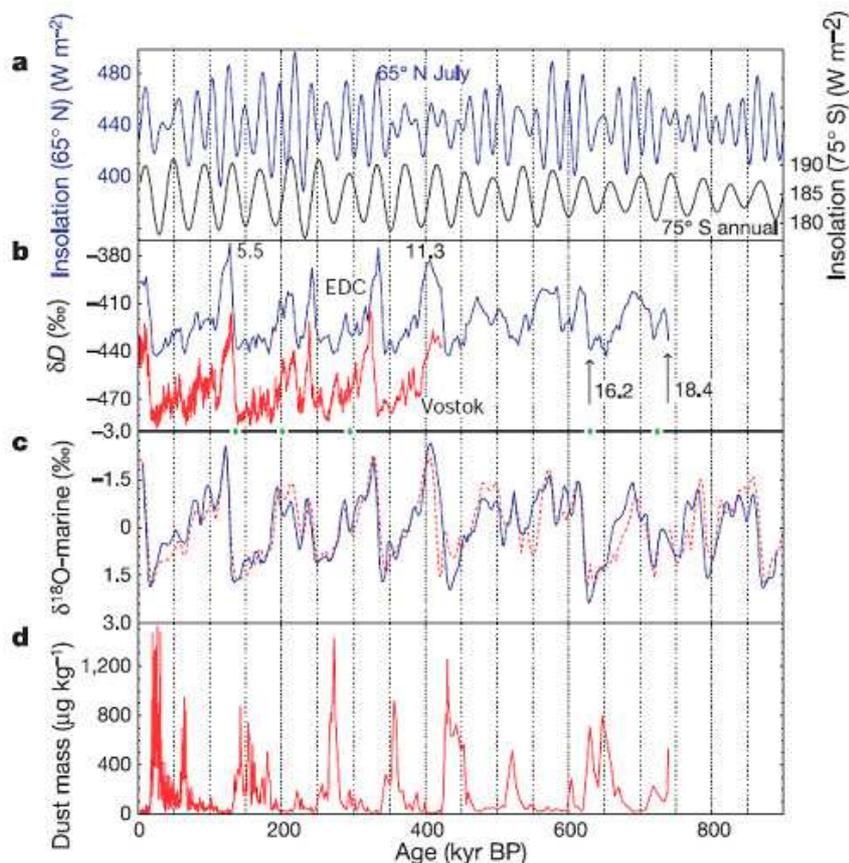


Рис. Динамика различных показателей климата Антарктиды за 800 тыс. лет (по абсциссе – тысячи лет до настоящего момента): а – рассчитанная по параметрам орбиты инсоляция на широте 55° с.ш. (июль) и 65° ю.ш. (средняя за год); б – относительное содержание дейтерия δD во льду (синяя линия – купол «С», красная – станция «Восток»). Чем больше дейтерия, тем теплее был климат; в – содержание тяжелого изотопа кислорода $\delta^{18}O$ в донных осадках (разным цветом показаны данные, относящиеся к разным районам океана). При потеплении климата содержание $\delta^{18}O$ в океанической воде снижается (обратите внимание, что используется инвертированная шкала; соответственно повышение температуры также отмечается пиками); д – содержание пыли во льду на куполе «С». Пыль откладывается в основном в периоды наиболее низких температур ледниковых эпох [9].

Столь значительные изменения среднегодовых температур Антарктиды не могли не отразиться и на климате горных систем, расположенных в средних широтах с континентальным климатом и несущих в настоящее время оледенение. К ним относится и Иле Алатау (Заилийский Алатау) – северный хребет Тянь-Шаня. Свидетельством этому являются фрагменты древних морен на высоте 1700...1800 м. Если считать, что температурный градиент мало зависит от климата и принять его равным $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, то положение конечной морены ледника на высоте 1600...1700 м соответствует понижению температуры в рисскую ледниковую эпоху на $9...10\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительно современного значения. Хорошо коррелируются изменения температуры воздуха в Антарктиде и на Северном Тянь-Шане в росс-вюрмском межледниковье, в вюрмскую ледниковую эпоху, а также голоцене.

В период максимального оледенения Центральный Туюксуйский ледник, сливаясь с ныне самостоятельно существующими ледниками и ледниками, формировавшимися на склонах пика Школьник, перевала Талгарский и вершин Шымбулак и Кумбель, продвигался ниже урочища Медеу, спускаясь до высотных отметок 1600...1700 м.

В результате геофизических исследований, выполненных в ходе Международного геофизического года, под ледником Туйыксу были обнаружены рыхлообломочные отложения, мощность которых составляет более сотни метров [1]. Происхождение этих отложений можно объяснить либо образованием морен, либо отложением селей. И в том, и в другом случаях столь мощная толща наносов могла образоваться, если оледенение в Иле Алатау практически исчезало. Для этого необходимо, чтобы климатическая снеговая линия поднималась на 300...400 м относительно ее современного положения. Такое возможно, когда температура воздуха повышается на $2...3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Именно на такую величину в Антарктиде повышалась температура в росс-вюрмское межледниковье.

В период наступания ледников вероятность формирования селей гляциального генезиса мала, так как отсутствуют предпосылки для образования озер моренно-ледниковых комплексов. Известно, что в 20 веке период времени от зарождения озера до его опорожнения составлял около 50 лет. Температурные условия на леднике, благоприятные для возникновения и развития озера, имеются лишь в области интенсивного таяния. При наступании ледников эти области, с образующимися на них озерами,

перемещаются к концу ледника быстрее, чем успевают развиться селеопасные озера. В этот период главную роль в выносе наносов играют сели дождевого генезиса. Однако и их масштабы сокращаются вследствие уменьшения стокообразующих площадей водосборов и уклонов областей формирования селей. Существенно изменяются и характеристики стокообразующих поверхностей.

В формировании селей дождевого генезиса участвует лишь та часть водосбора, где осадки выпадают в жидком виде. Если принять, что в условиях максимально холодного климата разница высот между концом ледника и верхней границей выпадения осадков в жидком виде была близка к современной, то площадь водосбора р. Киши Алматы, где осадки выпадали в жидком виде, была меньше современного значения почти в 2 раза. Вследствие этого значительно сокращалась длина речной сети водосбора, где концентрировался дождевой сток. И, что особенно важно для селеобразования, уклоны притоков, в которых могло происходить насыщение водного потока рыхлообломочным материалом, при этом были значительно меньше.

Вероятность образования селеформирующих паводков снижалась и за счет изменения характеристик стокообразующих поверхностей, определяющих возможность селеформирования. В условиях современного климата катастрофические сели дождевого генезиса образуются в результате выпадения осадков в жидком виде, в том числе и в зоне 3000...3800 м, представленной в основном скалами и склоновыми отложениями. Если коэффициент стока на скалах близок к единице, то на склоновых отложениях он зависит от физико-механических характеристик отложений горных пород, наличия и характера растительного покрова, предварительного увлажнения. Коллювиальные отложения в высотной зоне 3000...3800 м, в условиях современного климата, обладают фильтрацией близкой к провальной. Благодаря этому создаются условия для накопления воды в толще рыхлообломочных пород.

Понижение климатической снеговой линии до 2400...2500 м (среднее значение, рассчитанное по формулам Варданынца и Гефера) в ледниковые эпохи приводило к тому, что стокообразующими поверхностями становились склоны, обладающие развитым почвенным покровом, что в корне меняет условия стокообразования. Наличие почвенного покрова препятствует накоплению влаги в нижележащей толще рыхлообломочных пород, уменьшая вероятность сдвиговых селевых явлений и, тем самым, возможность образования селей на относительно малых уклонах.

С потеплением климата, вследствие отступления ледников, создавались условия для образования моренных озер, прорыв которых приводил к формированию селей. В результате подъема климатической снеговой линии возрастала и вероятность формирования селей дождевого генезиса, поскольку соответственно смещалась верхняя граница зоны, ниже которой осадки выпадали в жидком виде, а также происходило увеличение стокообразующих площадей водосборов.

Климат второй половины 20 века был благоприятным для селевой деятельности. Происходило почти повсеместное отступление ледников, сопровождающееся образованием западных, каровых и провальных озер. В то же время сток с ледников увеличивался, что приводило к переполнению озер и возрастанию вероятности их катастрофического прорыва.

Относительно благоприятными могут считаться условия и для образования селей дождевого генезиса в высокогорной зоне. При современном положении климатической снеговой линии вероятность выпадения ливневых осадков в жидком виде в высокогорной зоне возросла до значений, при которых можно ожидать формирования катастрофических селей дождевого генезиса один раз в 50...100 лет в каждом из крупных селевых бассейнов.

Отсутствие в плейстоцене тектонических движений, приводящих к образованию складок на территории, примыкающей к северному склону Иле Алатау, позволяет использовать стратиграфический метод для определения относительного геологического возраста осадочных горных пород, расчленения толщ пород и корреляции различных геологических образований, формирующих конусы выноса основных горных рек.

Изучение геологического строения конусов выноса, примыкающих к выходу горных рек Иле Алатау на предгорную равнину, по данным бурения скважин и геологических разрезов в карьерах по добыче нерудных материалов и на склонах долины р. Аксай, показало, что конус выноса представляет собой геологическое тело, сложенное группами смежных слоёв, характеризующихся различным генезисом и временем образования.

Группа состоит из двух смежных слоёв: слой, представленный лёссовидными породами эолового происхождения, образовавшийся в ледниковую эпоху, характеризовавшуюся засушливым климатом, сильными ветрами и селевой активностью, близкой к нулю. Мощность эоловых отложений на конусах выноса определяется процессами, имевшими место в межледниковья на поверхности конуса выноса.

Так, в средней части современного конуса выноса р. Малой Алматинки (Киши Алматы) на расстоянии 200...300 м мощность лёссовых отложений может изменяться практически от нуля до 8 м и более. Там, где лёссовые отложения не подвергались разрушению и сносу селями и водными потоками (в междуречье р. Малая Алматинка и р. Большая Алматинка) суммарная мощность лессовых отложений над поверхностью современных отложений близка к 100 м. На поверхности конусов выноса западной части Иле Алатау средняя мощность сохранившегося лессового покрова составляет 20...25 м.

В ледниковые эпохи небольшие по расходу и объёму сели могут формироваться в среднегорной и низкогорной зонах. Их отложение происходит в верхней части конусов выноса, поэтому в этой зоне золотые и селевые отложения могут перемежаться.

В межледниковые эпохи, в зависимости от глобального и регионального климатов, широтного положения, высоты гор и энергии рельефа, а также их геологического строения селевая активность возрастает. Максимум селевой активности наблюдался в ресс-вюрмском межледниковье 125...130 тыс. лет назад. За относительно небольшой интервал времени: 100...200 лет, на конусах выноса рек Киши Алматы и Аксай мощность отложений составила 20...30 м. Более 90...95 % отложений – селевые отложения, на долю аллювия приходится остальные 5...10 %.

О том, что отложения имели залповый характер, свидетельствует отсутствие почвы между отложениями селей. Предположение о том, что почва уничтожалась при прохождении селей маловероятно, так как между отложениями селей встречаются относительно тонкие прослои аллювия, способность которого противостоять эрозионному воздействию селей значительно меньше, нежели у почвы.

Современное потепление климата, получившее название голоцен и длящееся около 10...12 тыс. лет, способствовало активизации селевых явлений на Северном Тянь-Шане. Иле Алатау и прилегающая к нему предгорная зона считались наиболее селеопасными территориями СССР. Гибель людей, большой материальный ущерб, нанесённый в 20 веке, служили тому подтверждением. И хотя объём рыхлообломочных пород, вынесенных за этот период времени на конусы выноса составляет несколько десятков миллионов кубометров (что превышает объём, вынесенный селями за предшествовавшие 10...12 тыс. лет) и кажется внушительным, представление о грядущей опасности можно получить путём другого сравнения.

Если отложения селей голоцена «размазать» равномерно по всей территории конуса выноса р. Киши Алматы, мощность отложений вряд ли превысит 0,2...0,3 м, причём подавляющая часть отложений приходится на 20 век. Это составляет около 1 % от мощности отложений, образовавшихся в период росс-вюрмского межледниковья. Следовательно, селевая активность в росс-вюрмском межледниковье на обсуждаемой территории превышала среднюю селевую активность в голоцене в 100 раз.

Доказательством незначительного объёма селевых отложений в голоцене является наличие лёсса на большей части поверхности конусов выноса рек Киши Алматы и Аксай. Мощность лёссовых отложений на поверхности конуса выноса р. Киши Алматы имеет пятнистый характер. На расстояниях в несколько десятков метров она может изменяться от нуля до 10...11 м.

О незначительных объёмах отложений селей на конусе выноса р. Аксай в голоцене свидетельствуют:

в верхней части конуса выноса высотные отметки поверхности отложений селей, расположенных под более чем десяти метровой толщей лёсса, на 2...3 м больше, чем высотные отметки современных отложений (русло, образованное селями и постселевыми паводками вреzano в отложения росс-вюрмского межледниковья);

высотные отметки поверхности отложений селей росс-вюрмского межледниковья и поверхности современных отложений становятся равными на расстоянии 900...1000 м от вершины конуса выноса;

на значительной части площади нижней трети конуса выноса сохранился лёссовый покров, мощность которого может превышать один метр.

Оглянувшись назад, мы получили представление о селевой активности, имевшей место в прошлом и обрели возможность предсказать, что ждет нас в ближайшие 100 лет. Прогнозируемое потепление климата может существенно повлиять на селевую активность на северном склоне Иле Алатау. В соответствии с разработанными сценариями изменения климата в период до 2050...2075 гг., в горных районах южного и юго-восточного Казахстана ожидается более значительное повышение температуры воздуха, чем наблюдалось в 20 веке. Прогнозируемое повышение среднегодовой температуры воздуха лежит в пределах от 3,6 до 7,2 °С [5].

При увеличении температуры воздуха на 2,0...2,5 °С климатическая снеговая линия поднимется на 300...350 м. Это приведет почти к полному исчезновению каровых ледников и, следовательно, условий для образования озер карового типа.

Резко возрастёт в условиях Средней Азии и Казахстана и таяние долинных ледников, поскольку температура воздуха играет при этом ключевую роль [7]. Размеры долинных ледников значительно сократятся, произойдет распад ледниковых систем. Несмотря на то, что площадь оледенения уменьшится, вероятность формирования и масштабы селевых явлений в ближайшие десятилетия, возрастёт. Причиной тому станет увеличение числа селеопасных озёр на ледниках, образующихся в результате распада оледенения, существующего в настоящее время [7].

Резко возрастет и вероятность формирования селей дождевого генезиса. Объясняется это тем, что в результате потепления вся высокогорная зона, характеризующаяся наибольшим средним уклоном и скоплением рыхлообломочных пород, окажется в зоне выпадения ливневых осадков в жидком виде. Провальная фильтрация, характерная для этих отложений, будет способствовать аккумуляции воды в рыхлой толще, создавая условия для реализации сдвиговых селевых процессов. Поскольку стокообразующие площади водосборов примут максимальные значения, а запасы рыхлообломочных пород в моренах почти не ограничены, характеристики селей дождевого генезиса будут иметь максимально возможные значения. Селевая активность к концу века на северном склоне Иле Алатау возрастёт в десятки раз по сравнению с 20 веком. Описанный сценарий изменения селевой активности актуален для всех горных систем, несущих в настоящее время оледенение и расположенных в средних широтах с континентальным климатом.

Значительное увеличение селевой активности произойдёт и в высоких широтах: там, где в настоящее время преобладают сели водоснежного генезиса, в результате возрастания мощности сезоннопротаивающего слоя грунта, увеличатся повторяемость, расход и объём грязекаменных селей.

Активизация селей, вызванная потеплением климата, происходит постепенно. На Кавказе она началась в конце 19 века, к середине 20 века – на Северном Тянь-Шане, в ближайшие десятилетия активизация селей произойдёт на Алтае и т.д. Это позволяет заблаговременно подготовиться к грядущим катастрофическим явлениям, используя опыт, накопленный предшествовавшими поколениями, жившими на сопредельных территориях с мягким климатом.

Сказанное относится, в первую очередь, к оценке генезиса конусов выноса, примыкающих к выходу горных долин на предгорную равнину. С этой целью целесообразно использование геолого-геоморфологического метода определения генезиса конусов выноса горных рек [8]. Различие в

механизмах формирования аллювиальных и селевых конусов выноса приводит к различным формам их поверхности, что находит отражение в расположении и форме горизонталей на топографических картах масштаба 1:100 000 и крупнее.

О генезисе конусов выноса позволяет судить и гранулометрический состав отложений. В аллювиальных отложениях доля пылевато-глинистых частиц незначительна, так как водные потоки выносят их за пределы конусов выноса [8]. На относительно малых уклонах (1...3°) реальные водные потоки не способны переносить глыбы с размерами в несколько метров. В то время как в грязекаменных потоках большой плотности (при глубине потока, превышающей размеры глыб) крупные фракции селеформирующих пород перемещаются самостоятельно за счёт собственной потенциальной энергии.

Если известна селевая активность одного из речных бассейнов, имеющих близкие физико-географические характеристики, селевая активность других бассейнов определяется как произведение известной селевой активности речного бассейна на величины относительной селевой активности.

Если данные о селевой активности отсутствуют, то они определяются для речного бассейна, который принимается в качестве репрезентативного для группы бассейнов с близкими физико-географическими характеристиками.

Практически до конца 20 века считалось, что климат Земли на протяжении последних 10 000 лет не изменялся настолько, что это могло существенно отразиться на изменении селевой активности. В связи с тем, что требованием СНиП в СССР по защите от селей крупных городов являлось обеспечение безопасности от природных катастрофических явлений (с повторяемостью один раз в тысячу и даже десять тысяч лет), оценка изменения факторов, определяющих основные характеристики селей, производилась установившимися методами. Так, при сверхдолгосрочном прогнозе селей дождевого генезиса очень редко встречающиеся осадки и расходы водных паводков определялись путём экстраполяции данных, полученных за последние 100...150 лет.

Однако уже во второй половине прошлого века стало ясно, что не меньшую опасность представляют сели гляциального генезиса, не принимавшиеся ранее во внимание. Совместное использование радиоуглеродного, дендрохронологического, исторического и седиментационного методов позволило установить, что по долине р. Есик (Иле Алатау) за последние

1100...1500 лет имело место не менее 6 грязекаменных потоков. И, что особенно важно, 3 из них сформировались за период более 1000 лет, и 3 – за последние 50 лет [3]. Это обстоятельство, а также резкое усиление селевой активности дождевого генезиса на северном склоне Иле Алатау в последние 30 лет, позволяют утверждать, что активизация селей обусловлена потеплением климата.

Мировое сообщество пришло к выводу о том, что наблюдающееся потепление климата вызвано преимущественно деятельностью человека. Причём антропогенное воздействие на климат Земли приобрело масштабы, влияние которых, в лучшем случае, будет ещё длительное время предопределять тренд климатических изменений. Следовательно, при краткосрочном прогнозировании селевой активности в качестве исходных данных следует использовать не базу данных за сотни и тысячи лет, а повторяемость селей и их характеристики за последние 30 лет.

Своевременный сверхдолгосрочный прогноз селей во времени и пространстве, адекватная реакция на их активизацию позволяют оптимизировать мероприятия по освоению территорий, на которых риск хозяйственного освоения недопустимо велик: вовремя передислоцировать существующие объекты на безопасную территорию, осуществлять мероприятия по предотвращению селей или уменьшению ущерба, наносимого ими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровинский Б.А. Электроразведочные работы на морене Малоалматинских ледников // Гляциологические исследования в период МГГ: Заилийский и Джунгарский Алатау. – Алма-Ата: АН КазССР, 1961. – Вып. 1. – С. 113-135.
2. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 144 с.
3. Горбунов А.П., Северский Э.В. Сели окрестностей Алматы: взгляд в прошлое. – Алматы, 2001. – 80 с.
4. Кондратьев К.Я. Неопределенности данных наблюдений и численного моделирования климата. Доклад на Всемирной конференции по изменению климата. Москва, октябрь 2003 г. // Метеорология и гидрология. – М., 2004. – №.4. – С. 93-119.
5. Оценка воздействий изменения климата и мер адаптации для прибрежной зоны Каспийского моря и горных районов Южного и Юго-Восточного Казахстана: Резюме для лиц, определяющих социально-экономическую и природоохранную политику – Алматы: Казахский

научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата, 2000. – 49 с.

6. Перов В.Ф. Селевые явления на территории СССР. Итоги науки и техники. Серия Гидрология суши. – Т 7. – М.: ВИНТИ, 1989. – 149 с.
7. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. О ключевой роли температуры в процессах абляции в условиях ледникового континентального климата // Гидрометеорология и экология. – 1998. – №3-4. – С. 40-49.
8. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: в 4-х томах. Том 3: Селевые процессы и селетехнические сооружения. – Алматы, 2014. – 434 с.
9. EPICA community members Eight glacial cycles from an Antarctic ice core [Электрон. ресурс]. – 2004. – URL: <http://www.nature.com>. (Дата обращения 20.05.2014).
10. Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Barkov, N.I. & Kotlyakov, V.M. 1994. Vostok isotopic temperature record. In T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski & F.W. Stoss (eds.), Trends'93: A Compendium of Data on Global Change: 590-602. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.

Поступила 14.03.2016

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

БОЛЖАУ ҮШІН БҰРЫЛЫП ҚАРАУ

СЕЛ, СУ ТАСҚЫНЫ, ЫСЫРЫҢДЫ КОНУСЫ, МҰЗДЫҚ ДӘУІРІ, МҰЗДЫҚ АРАЛЫҚ, КЛИМАТ, ӨТЕ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ БОЛЖАУ, ПАЛЕОСЕЛТАНУ, СТРАТИГРАФИЯ, ДЕНУДАЦИЯ

Сел – көпфакторлы процесс. Климат селдің қалыптасуының негізгі факторларының бірі болып табылады. Оның біршама айтарлықсыз өзгеруі орта ендіктегі таулы аудандарда қазіргі уақыттағы мұзбасуларға байланысты селдің белсенділігін түбегейлі өзгертеді. Климаттың өзгеруі және плейстоцендегі селдік белсенділік туралы мәліметтер 21-ші ғасырдағы климаттың өзгеруімен туындаған селдің артуына уақытында дайын болуды қамтамасыз етеді.