

В. Ф. Перов СЕЛЕВЕДЕНИЕ

В. Ф. Перов

СЕЛЕВЕДЕНИЕ



Географический факультет МГУ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

В. Ф. Перов

С Е Л Е В Е Д Е Н И Е

Учебное пособие

2012

УДК 551.311
П26

Перов В. Ф.

П26 Селеведение. Учебное пособие. М., Географический факультет МГУ. 2012 г.

Рецензенты: д-р геогр. наук В. Л. Познанин
к. г. н. Д. А. Петраков
к. г-м. н. Н. В. Тумель

ISBN 978 - 5 - 89575 - 208 - 1

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены: природа селей, методы их изучения, география селевых явлений, состояние прогнозирования и мер защиты. Поскольку селеведение как относительно слабо развитое научное направление содержит мало общепринятых положений, в пособии велика доля собственных разработок автора, призванных обеспечить полноту и системность в изложении материала.

Для студентов географического факультета МГУ. Пособие может быть полезно студентам геологических, гидрометеорологических, мелиоративных, экологических специальностей.

ISBN 978 - 5 - 89575 - 208 - 1

© В.Ф. Перов, 2012
© Географический факультет МГУ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
Основные сведения о селях.	5
Историческая справка.	7
ГЛАВА 1. ПРИРОДА СЕЛЕЙ	13
1.1. Факторы селеформирования.	13
1.2. Селевой бассейн	25
1.3. Зарождение селей и селевые очаги	37
1.4. Вещественный состав и движение селей	46
1.5. Рельеф и отложения селевого генезиса	61
1.6. Режим селей	72
1.7. Классификация селевых явлений.	87
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕЙ	106
2.1. Полевые методы	107
2.2. Кадастры селевых бассейнов	117
2.3. Аэрометоды изучения селей.	120
2.4. Картографирование селей.	128
2.5. Количественные характеристики	138
2.6. Моделирование и натурный эксперимент	142
ГЛАВА 3. ГЕОГРАФИЯ СЕЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ	146
3.1. Анализ факторов селеформирования	146
3.2. Районирование селеопасных территорий	161
3.3. Селевые явления на территории РФ	170
3.4. Селевые явления в странах СНГ	194
3.5. Селевые явления территорий за рубежами России и стран СНГ	214
ГЛАВА 4. СЕЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ И МЕРЫ ЗАЩИТЫ	231
4.1. Селевые потоки как стихийное бедствие.	231
4.2. Оценка селевой опасности и риска.	234
4.3. Прогноз селей	237
4.4. Меры защиты от селей	241
Рекомендуемая литература	248
Литература	249

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс о селевых потоках читается студентам IV курса кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ. С 1973 до 1985 гг. его вел проф. С. М. Флейшман, позднее – до 2010 г. – проф. В. Ф. Перов. Первое учебное пособие было выпущено в 1986 г. (С. С. Флейшман, В. Ф. Перов. Сели. Изд-во Моск. ун-та. 127 с.). Настоящее издание полностью обновлено. Рассмотрен весь круг вопросов современного селеведения с акцентом на географический аспект селевой проблемы. Структура пособия состоит из трех частей: общего селеведения (гл. 1 и 2), географии селей (гл. 3) и прикладного селеведения (гл. 4).

Селеведение как отрасль знания и прикладной деятельности находится в периоде становления, в нем мало установившихся общепринятых понятий и терминов. В учебном пособии отражен многолетний опыт исследований селевых явлений в горных районах России и стран СНГ, проведенных автором в составе Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского университета.

Все фотографии, выполнены автором.

Автор благодарен сотрудникам лаборатории Т. А. Леонтьевой и Т. И. Туниянц за участие в подготовке рукописи учебного пособия к печати.

ВВЕДЕНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕЛЯХ

Селями или селевыми потоками называют стремительные русловые потоки, состоящие из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающие в бассейнах небольших горных рек. Главной особенностью этих потоков служит высокая насыщенность обломочным материалом, которая составляет от 10 до 75% объема движущейся массы. Для сравнения: содержание взвешенных частиц в горных реках редко превышает 1–2%. При таких высоких показателях насыщенности объемный вес или плотность селевой смеси лежит в диапазоне 1000–2500 кг/м³. Высокий объемный вес селевой смеси служит одной из причин инерционности потока, т. е., стремления к сохранению прямолинейного движения. Отсюда – лобовой удар и выбросы селевой смеси на крутых поворотах русла. Другая характерная особенность движения селей – его пульсационный или волновой характер. За время схода селя (в среднем 1–4 часа) проходят десятки и даже сотни волн. Крутой передний фронт (лоб) волны образует «голову» селя. Фронт волны в 1,5 раза выше тела потока и состоит преимущественно из крупных обломков горных пород. Характерные значения глубины селевых потоков составляют 2–10 м, ширины – от 3–5 до 50–100 м. Максимальный размер перемещенных обломков лежит в пределах от 2–4 до 8–10 м в поперечнике. Скорость селей лежит в диапазоне от 1–2 до 8–10 м/с (от 4–7 до 30–36 км/ч), максимальный расход составляет от 10–50 до 5000–10 000 м³/с. Сход селя сопровождается гулом и вибрацией поверхности земли. Приводим впечатления очевидца от схода селя на город Алма-Ата 8 июля 1921 г.: “Рев воды, гул перекатываемых камней, треск разрушаемых зданий, грохот сдираемых железных крыш, огромные искры, вероятно, от сталкивающихся камней, еще издали предупреждали о приближении ее, и вот лавина, состоящая из воды, грязи, гальки, огромных валунов, стволов деревьев и обломков разрушенных зданий, ринулась на город. По руслу Алматинки и улицам города плыли целые дома, и крики о помощи уносимых водой людей придавали особую жуткость картине всеобщего разрушения” (Ю. Б. Виноградов, 1980, с. 13).

Максимальные расходы селевых потоков превышают максимальные расходы водных паводков в тех же бассейнах в десятки раз. Сход селей сопровождается значительной глубиной и боковой эрозией русла, подмывом бортов долин. Селевые потоки выносят к подножью хребта или на дно главных речных долин огромное количество обломочного материала. Характерные значения единовременного объема выноса селом обломочных масс составляют десятки – сотни тысяч м³, достигая в высокогорьях 5–6 млн м³. Один селевой поток за десятки минут выносит массу обломков, которую обычная горная речка перемещает в течение 50–100 лет.

Важной особенностью режима селей является нерегулярность их схода. Повторяемость (частота схода в пределах одного селевого бассейна) лежит в широком диапазоне: от нескольких случаев за сезон до одного раза в 20–40 лет, составляя в среднем один раз в 10 лет. Непосредственными причинами формирования селей служат интенсивные или продолжительные ливни, интенсивное таяние снега и льда, реже – прорыв временных или постоянных подпрудных озер. Селевые потоки возникают также при извержении вулканов, землетрясениях силой 7–8 баллов и выше. Предпосылки для образования селей создают последствия хозяйственной деятельности – сведение лесов, складирование отвалов на склонах гор и др. Необходимыми условиями для зарождения селевых потоков служат большие расходы воды в русле, превышающие максимальные расходы водных паводков, наличие рыхлообломочных (легко размываемых) горных пород на дне и склонах долины и значительные уклоны русла и склонов. Первое из этих условий обеспечивает размыв русла и берегов, второе – вовлечение в водный поток обломочных масс и образование селевой смеси, третье – движение этой смеси вниз по долине.

Реализация селевого процесса, состоящего из этапов подготовки, зарождения, движения и аккумуляции селевого потока происходит в пределах отдельных горных водосборов – селевых бассейнов. В большинстве случаев это небольшие речные бассейны – притоки главных рек, расчленяющих макросклоны горных хребтов. Площадь их составляет от 1–2 до 100–200 км², а средний характерный уклон водотока – 100–300‰. В засушливых областях водотоки селевых бассейнов нередко являются временными.

Среди экзогенных процессов селевые явления занимают промежуточное положение между водноэрозионными (флювиальными) и оползевыми (гравитационными). Селевые потоки низкой плотности близки по свойствам к водным паводкам, высокой плотности – к оползням течения (оползни-потоки, сплывы, оплывины).

Селевые потоки распространены практически повсеместно в горах и в отдельных районах возвышенных равнин. Горы занимают около 20%, а селеопасные территории – около 16% площади суши на Земле. Сход селей в освоенных районах приводит к человеческим жертвам и значительному материальному ущербу. Главные формы вредного воздействия селей – разрушение или повреждение зданий и сооружений на пути схода и занос территорий грязекаменной массой. От селевых потоков страдают города и населенные пункты, железные и шоссейные дороги, линии электропередачи и связи, нефтегазопроводы, каналы, сельскохозяйственные угодья, центры рекреации. В целях уменьшения селевой угрозы разрабатываются методы оценки селевой опасности и риска, прогноза селей, способы защиты от селевых потоков и снижения активности селевого процесса. Именно необходимость разработки способов защиты от селей при активном освоении человеком горных регионов в XIX в. инициировала становление селеведения как научного направления.

2. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Селеведение как научное направление сформировалось в Западной Европе во второй половине XIX в. Главным побудительным мотивом изучения природы селей послужил ущерб от них в альпийских странах, который резко возрос в связи с активным освоением гор, сопровождающимся истреблением лесов. В этой связи в первых же публикациях по селевой проблеме находят отражение как вопросы природы селей, так и способы их регулирования. Наибольший вклад на первом этапе внесли ученые и инженеры Франции и Австрии: Сюррель, Г. Кох, Ф. Фрех, П. Демонце и др. Принимаются специальные законы об охране горных лесов: в 1860 г. во Франции и в 1872 г. в Австрии. Началось строительство регулирующих сооружений в руслах рек и восстановление лесной

растительности на склонах. К началу XX в. сформировались основные представления о природе селевых явлений и принципах их регулирования. Отметим главные: среди причин возникновения селей, помимо ливневых дождей, упоминаются таяние снегов и льдов, прорывы озер, извержения вулканов; селевые потоки в классе экзогенных процессов занимают особое положение между паводками с одной стороны и оплывинами – с другой; типичный селевой бассейн подразделяется по морфологии на область питания, выводной канал и конус выноса; предложены первые типологии селевых бассейнов – по гидрографическому строению (простые и сложные) и по расположению в системе ландшафтных поясов (верховья лежат в пределах лесной зоны или выше – в пределах альпийской и субнивальной); выявлена роль литологического фактора (благоприятные условия создают легко разрушающиеся горные породы – глинистые сланцы), растительного покрова, отрицательных последствий хозяйственной деятельности; разработаны основные принципы регулирования селей, которые состоят в сочетании технических сооружений в русле с лесовосстановлением на склонах. Эти достижения позволили автору одной из первых обобщающих монографий о природе Земли М. Неймайру (История Земли, 1895, рус. пер. 1903), строго научной и одновременно общедоступной по изложению, включить в нее специальный раздел «Внезапные потоки», посвященный селевым явлениям.

В течение XX в. реализован большой объем технических и мелиоративных мер защиты от селей. Обоснованию их и углубленному изучению природы селей посвящены труды О. Хартеля и П. Винтера, Г. Штрале (Австрия) в первой половине века, а во второй его половине – Л. Скутулы (Чехословакия), С. Гавриловича (Югославия), Т. Такахаша (Япония) и др.

В России первые публикации о селевых явлениях также были связаны с необходимостью организации защиты от селевой угрозы. Термин «сель» вводит в русскую научную литературу инженер Б. И. Статковский (1866), проектировавший Военно-Грузинскую дорогу, которая пересекает Большой Кавказский хребет. На рубеже XIX и XX вв. появляются первые описания схода селей и их разрушительных последствий (М. П. Псарев, 1885; Н. Н. Пыльцов, 1904). Геолог К. И. Богданович (1902)

характеризует селепроявления в Закавказье и дает первое всестороннее описание условий и особенностей развития селевого процесса, с использованием достижений европейских ученых; позднее он включает эти материалы в учебник “Физическая геология” И. В. Мушкетова (1905), участвуя, в подготовке к выпуску второго (посмертного) издания.

В 80-х годах XIX в. начались работы по облесению горных склонов в селеопасных районах Средней Азии (отроги Гиссарского хр.; Фергана), а в 90-х годах – в Закавказье. Обоснование и технология лесомелиоративных способов защиты от селей, вместе с характеристикой селевых явлений отражены в публикациях лесоводов (М. Д. Иоэльсон, 1891; В. Лисневский, 1894, 1898; С. Раунер, 1901, 1902, 1903). В Закавказье эти работы были продолжены сотрудником Водного управления Н. Петровым (1910, 1913). Автор характеризует основные свойства селевых потоков, условия их формирования, особенности движения и селевых отложений, предлагает классификацию селей.

В 30-х годах XX в. появились первые региональные обобщения по селевым потокам и способам защиты от них: А. Л. Брилинского (1936) по Закавказью, Н. М. Трофимова (1937) по Туркмении, Ф. К. Кочерги (1937) по Узбекистану. В эти же годы Е. П. Коноваловым (1938) опубликован первый опыт систематизации сведений о селевых явлениях. Автор характеризует основные свойства селевых потоков, условия их формирования, особенности движения и селевых отложений, предлагает классификацию селей.

40–80-е годы XX в. – наиболее плодотворный период по объему проведенных исследований и количеству публикаций по селевой проблеме в бывшем СССР. В значительной мере этому способствовало создание в 1947 г. Межведомственной селевой комиссии. В течение 1949–1981 гг. комиссия организовала и провела 16 селевых конференций и тематических совещаний с публикацией трудов, подготовила первое обобщение по географии селей на территории СССР (Сели в СССР..., 1964). Комиссию в разные годы возглавляли: М. А. Великанов, М. Ф. Срибный, С. М. Флейшман, Ю. Б. Виноградов.

Гидрометеослужбой страны – головной организацией по селевой проблеме был подготовлен кадастр селевых бассейнов в пределах изученных

территорий (Каталог селеопасных..., 1967; Каталог селеопасных..., 1969; Кадастр (каталог) селеопасных..., 1969). Казахский НИИ Гидрометеослужбы выпустил «Руководство по изучению селей» (1976), монографии по селеметрии и механике селей (Б. С. Степанов, 1982; Б. С. Степанов, Т. С. Степанова, 1991), 12 сборников статей «Селевые потоки» (1976–1992).

Институтом ВСЕГИНГЕО Министерства геологии были составлены: «Методическое руководство по комплексному изучению селей» (1971), «Аэрометоды изучения селей» (А. В. Садов, 1972), методы оценки селевой активности при инженерно-геологической съемке (Методическое руководство..., 1978).

В Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ был подготовлен первый библиографический справочник отечественной литературы по селевой проблеме, охвативший период с 1850 по 1967 гг., (Ю. А. Власов, Н. В. Крашенинникова, 1969), составлена первая мелкомасштабная «Карта селеопасных районов СССР» (1975) с сопровождающей монографией (Селеопасные районы..., 1976), учебное пособие «Сели» (С. М. Флейшман, В. Ф. Перов, 1986). С использованием результатов специальных исследований слабоизученных регионов впервые получена полная картина развития селевых процессов в масштабе всей страны, которая нашла отражение на новой карте и схеме районирования селеопасных территорий (В. Ф. Перов, 1989).

Опыт регулирования селевых потоков отражен в публикациях, посвященных защите от селей гидроэлектростанций (П. С. Непорожний, 1947), железных дорог (Защита железных..., 1962), сквозным конструкциям защитных сооружений (Г. И. Херхеулидзе, 1967), противоселевым сооружениям Казахстана (А. И. Квасов, 1987; Ж. Б. Байнатов, 1991), агролесомелиорациям в селевых бассейнах (Ф. К. Кочерга, 1965; А. Н. Олиферов, 1963). Созданная в 1973 г. в Казахстане специализированная организация «Казселезащита», обеспечила выпуск пяти сборников статей «Проблемы противоселевых мероприятий» (1981–1988).

Результаты изучения селевых явлений нашли отражение в обобщающих монографиях: И. В. Боголюбовой (1957), М. С. Гагошидзе (1970), С. М. Флейшмана (1970, 2-е изд. 1978), А. И. Шеко (1980). В эти же годы

вышли две книги Ю. Б. Виноградова (1977, 1980), посвященные паводкам и селям ледникового генезиса и основным вопросам селеведения в популярном изложении. Следствием международного сотрудничества явился выпуск сборника докладов международного семинара (Оползни и сели, 1982) и коллективной монографии «Оползни и сели» (т. 1, 2, 1984).

После распада СССР в 1991 г. возможности проведения научно-исследовательских работ во всех странах СНГ резко снизились. Однако изучение селей продолжается. В Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ составлены: первый словарь по селевым явлениям (В. Ф. Перов, 1996) и также впервые – карта селевых явлений мира м-ба 1:15 млн (V. Perov a. oth., 1997), опубликованы монографии, посвященные оледенению и селевым явлениям Приэльбрусья (И. Б. Сейнова, Е. А. Золотарев, 2001), селевым процессам на Центральном Кавказе (С. С. Черноморец, 2005), водоснежным потокам Хибин (А. Н. Божинский и др., 2001). В Казахстане вышли в свет на русском языке монографии, посвященные спуску прорывоопасных озер (Н. К. Бижанов и др., 1998), селевым явлениям Заилийского Алатау (Р. К. Яфязова, 2007), оценке риска селей (Е. А. Таланов, 2007), в Грузии – посвященные движению селей (О. Г. Натишвили, В. И. Тевзадзе, 1996, 2001, 2007). Опубликованы книги о селевых явлениях Памира (О. В. Тукеев, 2002), о механизмах селевых ледниковых катастроф (В. Л. Познанин, 2009).

В России в 2005 г. образована «Селевая ассоциация»; президент ассоциации – К. Н. Носов, (институт «Севкавгипроводхоз», г. Пятигорск). При организационной и финансовой поддержке ассоциации и института в 2008 г. прошла международная конференция по селевым потокам, изданы ее труды (Селевые потоки..., 2008), подготовлен и издан второй выпуск библиографического указателя по селям, охвативший период 1968–1991 гг. (А. Ю. Власов, 2008).

С 1997 г. проводятся международные конференции по селевым потокам. Первая состоялась в США (Сан-Франциско), вторая на Тайване (Тайбей) в 2000 г., третья – в Швейцарии (Давос) в 2003 г., четвертая – в Китае (Ченду) в 2007 г., пятая – в Италии (Палермо) в 2011 г. В трудах конференций отражены все аспекты селеведения.

глава первая

ПРИРОДА СЕЛЕЙ

1.1. ФАКТОРЫ СЕЛЕФОРМИРОВАНИЯ

Селевые потоки – сложные явления, возникновение и формирование которых определяется суммой факторов как природного, так и антропогенного характера. Эти факторы образуют три группы: климато-ландшафтную, геолого-геоморфологическую и группу, связанную с последствиями хозяйственной деятельности (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Факторы селеформирования

Группа факторов	Особенности селевого процесса, которые они преимущественно определяют*
<u>1. Климато-ландшафтная</u> (климат, современное оледенение, многолетняя мерзлота грунта, почвенно-растительный покров).	Зональность селевых явлений. Режим селей (продолжительность и календарные сроки селеопасного периода).
<u>2. Геолого-геоморфологическая</u> (состав горных пород, неотектоника, рельеф, современный вулканизм, сейсмичность)	Масштаб селевых потоков (объем выносов и длина пути). Вещественный состав и реологические типы селей.
<u>3. Антропогенная</u> (обезлесивание, перевыпас, распашка склонов, последствия горнодобывающего производства, транспортного и гражданского строительства)	Рост активности селей и площади селеопасных территорий.

* Все три группы факторов влияют на повторяемость селей и порождают особые генетические типы селевых потоков.

В первую группу входят факторы, прямо связанные с климатом: ливневые дожди, снежный покров, современное горное оледенение, многолетняя мерзлота грунта, почвенно-растительный покров. Во вторую группу входят рельеф, состав горных пород и эндогенные процессы – неотектоника, землетрясения, вулканизм.

Климато-ландшафтные факторы. *Ливневые дожди.* Подавляющая часть селей образуется вследствие ливней или после продолжительных дождей. На севере Евразии (территории бывшего СССР) по статистике 1970-х годов селевые потоки, вызванные ливнями и затяжными дождями, составляли около 95% числа случаев с установленными причинами. Ливень это сильный дождь выше определенного предела, с учетом его продолжительности. За нижнюю границу ливня принимают дождь, интенсивность которого, например, составляет 0,5 мм/мин при продолжительности 5 мин или 0,2 мм/мин при продолжительности 1 час. Максимальное значение интенсивности ливня составляет 31 мм/мин, а продолжительности – 24 часа; слой осадков при этом варьирует от 30 до 1800 мм.

Жидкие осадки как решающий фактор формирования паводков и дождевых селей подразделяются на три типа, в которых учитываются различия в интенсивности, продолжительности и площади орошения: ливни, ливневые дожди, обложные дожди (Б. Б. Богословский и др., 1984).

Ливни – короткие и интенсивные дожди продолжительностью не более 2–4 часов со средней интенсивностью не менее 10–20 мм/ч; орошают одновременно небольшие территории площадью до десятков-сотен квадратных километров; за 2–4 часа выпадает до 100–150 мм осадков.

Ливневые дожди – длительные и интенсивные дожди продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток и средней интенсивностью не менее 2–10 мм/ч; орошают одновременно обширные пространства – от десятков тысяч до сотен тысяч квадратных километров; дают за несколько суток до 150–300 мм осадков.

Обложные дожди – длительные и малоинтенсивные дожди продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток с равномерной интенсивностью менее 2 мм/ч; орошают большие площади – десятки и сотни тысяч квадратных километров.

При выпадении дождей часть осадков задерживается кронами деревьев и кустарников, часть уходит на впитывание (инфильтрацию) в почву и грунт, а оставшаяся формирует поверхностный сток. Наиболее благоприятные условия для стока создаются на склонах, сложенных вы-

ходами скальных, глинистых и суглинистых пород, на альпийских лугах. Быстрый сброс воды со склонов в русло обеспечивает возрастание расходов в десятки и сотни раз, что ведет к глубинному и боковому размыву русла и трансформации водного паводка в селевой поток.

В процессе формирования дождевых селей участвуют также «капельная эрозия» и грунтовый сток. С ростом интенсивности дождя возрастает диаметр дождевых капель и скорость их падения от 1 до 6 мм и от 4 до 9 м/с, соответственно. Ударное воздействие дождевых капель приводит к ухудшению водопроницаемости грунтов (т. е., к увеличению поверхностного стока) и к возрастанию мутности в потоках малой глубины на склонах, а, в конечном счете, и в русле.

Грунтовыми водами называют подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта; это свободные (гравитационные) воды, формирующиеся в коре выветривания или в рыхлых поверхностных отложениях. Водоупором часто служат поверхности коренных пород или мерзлоты. Во время длительных дождей и ливней осуществляется быстрый сток грунтовых вод, которые выклиниваются в русла водотоков. Они увеличивают расход воды в русле, а также обводняют рыхлые толщи на склонах, снижая их сопротивляемость эрозии и вызывая оползни.

Величины селеформирующих осадков, вызывающих сход селей лежит в диапазоне от 15–20 мм в сутки в засушливых районах до 100–200 мм – во влажных. Редкие разрушительные селевые потоки дождевого генезиса формируются, как правило, выдающимися ливнями. Например, сель 8 июля 1921 г. на р. М. Алматинке, разрушивший часть г. Алма-Аты, обязан возникновением сильному ливню с суммой осадков более 100 мм при средней интенсивности 2 мм/мин. Многочисленные селевые потоки, превосходившие по масштабам прежние, прошли в бассейне р. Вохчи (Армения) 21 июля 1960 г. Они были вызваны рекордным для этого района ливнем с суммой осадков 157 мм, интенсивность которого менялась от 0,15 до 1,26 мм/мин (И. И. Мечитов, 1961).

Благоприятные условия для формирования дождевых селей создают осадки предшествующего периода, поскольку переувлажненные грунты увеличивают поверхностный сток (не отбирают воду на инфильтрацию), легче размываются и оползают. Катастрофический селевой поток

на р. Гедар (Армения) 25 мая 1946 г. был подготовлен предшествующим увлажнением в марте-мае, когда сумма осадков была в 1,5–2 раза выше нормы (А. Н. Важнов, 1946). Ливневые дожди, вызвавшие селя, были невелики (15–20 и 25 мм). Однако общий объем селя составил 1,7 млн м³, а объем твердых выносов 500 тыс. м³. Массовый сход селей часто также связан с длительным периодом предшествующего увлажнения, завершившимся небольшим ливнем. Например, многочисленным селям в Приэльбрусье и на Военно-Грузинской дороге 5–6 августа 1967 г. предшествовал двухмесячный период, в течение которого сумма осадков составила около годовой нормы.

Снежный покров. Таяние снежного покрова само по себе не порождает сколько-нибудь значительных грязекаменных селей, поскольку интенсивность снеготаяния недостаточна для того, чтобы в русле водотока сформировался селеформирующий расход. Интенсивность снеготаяния составляет несколько мм в час, тогда как интенсивность дождя – несколько мм в минуту; поэтому на малых водотоках дождевые паводки превосходят наивысший расход воды весеннего половодья. Роль снежного покрова в селевом процессе проявляется в трех главных формах: а) участии талых вод в формировании массового схода селей при наложении значительных жидких осадков на период активного снеготаяния; б) формировании специфических снежниковых селей; в) формировании водоснежных потоков. Примером первой ситуации могут служить события 7–8 апреля 1959 г. в передовых хребтах западной ориентации Памиро-Алая и Тянь-Шаня, в которых прошли многочисленные селевые потоки (Каталог селеопасных..., 1967; М. П. Рыбкина, 1962). Причиной послужило наложение интенсивных осадков на период активного снеготаяния. Резкий подъем температуры воздуха сопровождался выпадением жидких осадков до 60 мм. Это обеспечило обилие воды (от дождя, талых вод, запаса воды в снеге и грунте), сход снежных лавин, оползней, оплывин с последующим их прорывом и образованием селей.

Снежник – скопление снега и льда, сохраняющееся на земной поверхности в течение части или всего теплого времени года, после стаивания снежного покрова. Снежники часто образуются у подножья уступов склонов и на перегибах продольного профиля водотоков. Снежники

способствуют разрушению и обводнению горных пород, а также формируют снежниковый сток. Когда все эти процессы развиваются в условиях легко выветривающихся и дающих много тонкодисперсных частиц горных пород, например глинистых сланцев, происходит накопление рыхлообломочной массы – потенциальной селевой смеси потока. При жаркой погоде, когда снежник тает активно, может произойти переувлажнение и срыв (сдвиг) водонасыщенной массы грунта, что дает начало селевому потоку. Первый такой сель, возникший при ясной солнечной погоде, был отмечен на р. Дуруджа (Грузия) 29 июля 1957 г. (З. С. Иорданишвили и др., 1956). Вторым подобный случай описан Г. А. Керносовым (Гидрометеослужба Таджикистана): селевые потоки, зародившиеся от снежника, прошли 30 июня и 10 июля 1974 г. по р. Дерзуддара при жаркой ясной погоде. Позднее О. В. Тукеевым (2002) на Памире были охарактеризованы 9 участков, где в 1977–1987 годы прошли снежниковые сели.

Водоснежные потоки – особый тип селеподобных потоков, состоящих из смеси комков и зерен снега с водой. Снежный покров обеспечивает и жидкую и твердую составляющие потока. Они формируются в период снеготаяния, при оттепелях с резким подъемом температуры воздуха. Водоснежные потоки широко распространены в горных районах всей субарктической климатической зоны Земли.

Современное горное оледенение. Участие ледников в селевом процессе реализуется в продуцировании собственно ледниковых селей и формировании рыхлообломочных толщ, как долговременного источника твердой составляющей селей. Ледниковые сели могут возникать как при наступании ледников, так и при их деградации. При наступании ледников возможно подпруживание реки боковой долины. Последующий прорыв ледниковой запруды вызывает паводок или сель. При отступании ледников у их нижнего края формируются ледниково-моренный комплекс, включающий поля мертвых льдов, подпрудные озера, аккумулятивные тела морен и флювиалювиальных отложений. Этот комплекс непрерывно меняется, т. е. находится в неустойчивом состоянии, что благоприятствует возникновению селей. Селевые потоки у концов современных ледников зарождаются преимущественно

вследствие прорыва приледниковых озер и внутриледниковых емкостей или обрушения моренных и фирново-ледяных масс. Наиболее высокая активность ледниковых селей свойственна этапам отступления ледников. Современная деградация оледенения, связанная с глобальным потеплением, сохраняет этот уровень высокой активности.

Моренные отложения голоценового и позднечетвертичного возраста в горах создают благоприятные условия для формирования дождевых селей, обеспечивая их твердую составляющую.

Многолетняя мерзлота грунта в целом ограничивает развитие селевого процесса. В зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород слой сезонного оттаивания лишь к концу лета достигает значений 2–4 м, оставаясь незначительным в течение большей части теплого периода. Это сдерживает глубинную эрозию водотоков и практически исключает глубокие оползневые смещения рыхлообломочных масс на склонах. Укороченный теплый сезон и редкость ливневых дождей делают условия развития селей еще менее благоприятными. В таких условиях происходит смена господствующих генетических типов селей – дождевых в умеренной зоне на снеговые (водоснежные потоки) в субарктической. Типичные водо- и грязекаменные сели здесь редки, характерны селевые паводки. Соответственно, геоморфологические признаки селей – селевые гряды и конусы выноса – представлены в неразвитой форме, часто, например, в нагорье Черского, они замещаются полосами аккумуляции вдоль русла (В. Ф. Перов, 1984). Механизм зарождения мелких склоновых селей часто связан со спływом талого грунта по мерзлому основанию.

В области распространения многолетнемерзлых пород выделяются две группы очагов зарождения селей – горно-таежной и гольцовой зон (Ю. Б. Тржцинский и др., 1969). В условиях постепенного продвижения фронта оттаивания мерзлоты из горно-таежной зоны в гольцовую селеформирование в начале лета возможно лишь в низовьях относительно крупных бассейнов, а во вторую его половину охватывает весь бассейн. В бассейне оз. Байкал и на хребтах Станового нагорья в начале лета водные потоки превращаются в селевые в низовьях относительно крупных водотоков за счет размыва аллювия и конусов выноса

боковых протоков на дне долины. Во второй половине лета срабатывают очаги гольцовой зоны, материалом для которых служат склоновые и ледниковые отложения. Сели эти зарождаются в более мелких бассейнах; они пополняют очаги питания нижней зоны, а в отдельных случаях (при сильных дождях) трансформируются в мощные селевые потоки, достигающие устьев основных долин.

Почвенно-растительный покров. Состояние и структура почвенно-растительного покрова на склонах гор оказывает прямое воздействие на режим и параметры стока, а через него – на условия селеформирования. Особенно велика регулирующая и противозэрозионная роль лесных ландшафтов: заметная доля жидких осадков задерживается кронами деревьев; лес замедляет и уменьшает поверхностный сток, переводя значительную его часть во внутригрунтовый и защищая склон от размыва; корневая система древесных пород закрепляет (армирует) субстрат. Сток ливневых вод, например, в дубово-грабовом лесу Закавказья, в 3–4 раза меньше стока с травяных склонов и в 10–15 раз стока с оголенных склонов (В. Рахманов, 1984).

В переводе поверхностного стока во внутригрунтовый важнейшая функция принадлежит лесным почвам и лесной подстилке. Лесные почвы, особенно лесная подстилка, отличаются большой водопроницаемостью и водопоглотительной способностью. В течение короткого времени они способны поглотить до 40–70 мм воды. Уничтожение подстилки и живого напочвенного покрова увеличило поверхностный сток на о. Сахалин в 13–15 раз (А. П. Клинецов, 1973), а в Закавказье в 35 раз (Л. Б. Махатадзе, 1951).

В прямой связи с залесенностью бассейна находится эрозия склонов и твердый сток рек. Твердый сток горных рек Северного Кавказа с возрастанием лесистости (процент покрытой лесом площади) бассейнов от 10 до 50% уменьшается в 14 раз (А. А. Молчанов, 1972).

Поверхностный сток на травянистых склонах зависит от величины проективного покрытия. Когда эта величина составляет менее 50%, возрастает скорость движения воды и начинается смыв почвы, а при значениях менее 30% возникает струйчатый размыв (Г. А. Ларионов, 1993).

Геолого-геоморфологические факторы. *Рельеф.* Влияние особенностей рельефа на селевой процесс многосторонне. Можно выделить следующие характеристики рельефа, через которые это влияние реализуется: абсолютная высота, глубина и густота расчленения, ярусность. С ростом абсолютной высоты гор растет крутизна склонов и скорость денудации. На более крутых склонах возрастает движущая сила водных потоков и, соответственно, их размывающая способность. Рост скорости разрушения горных пород с высотой обеспечивает более высокий уровень подготовки твердой составляющей селей. С увеличением высоты гор увеличивается и средний уклон постоянных и временных водотоков, что создает более благоприятные условия для формирования селей. От абсолютной высоты гор зависит и наличие современного горного оледенения, что, как было отмечено выше, качественно меняет условия селеформирования. Говоря о положительном воздействии абсолютной высоты гор на ход селевых процессов, следует помнить, что высоко поднятые, но слабо расчлененные блоки земной коры (Восточный Памир, Тибет и др.) подобного эффекта не дают.

Г л у б и н а и г у с т о т а р а с ч л е н е н и я определяют энергию рельефа, т. е., потенциальную интенсивность рельефообразующих процессов, включая селевые. Таким образом, чем выше значение глубины и густоты расчленения, тем благоприятнее условия для развития селей. Например, значения максимального объема выноса селями обломочного материала в глубоко расчлененных (более 1000 м) высокогорьях и в среднегорьях различаются на порядок, составляя соответственно 5–6 млн м³ и 500–600 тыс. м³. С ростом густоты расчленения гор возрастает площадь склонов – потенциальных очагов твердого питания селей, и уменьшается средняя площадь речных водосборов. Последнее обстоятельство благоприятно для зарождения дождевых селей, т. к. сближает значения площадей водосборов с площадью одновременного орошения ливнем.

Ярусность рельефа, связанная с историей развития горной страны в целом, снижает селевую активность. Например, высоко поднятые межгорные котловины служат местными базами денудации, снижая относительную высоту гор.

Состав горных пород. При анализе связи «горные породы – селевые процессы» целесообразно использовать подразделение пород на группы, принятое в инженерной геологии, поскольку главным критерием здесь служат свойства пород, в частности, по отношению к атмосферным воздействиям. В табл. 1.2 представлена такая классификация, вместе с характеристиками устойчивости выделенных групп горных пород к разрушению и размыву (таб. 1.2).

Видно, что в направлении от скальных (магматических и метаморфизованных) к осадочным сцементированным и далее к дисперсным (рыхлым) грунтам падает степень устойчивости их к денудации, уменьшаются значения скоростей, выше которых начинается размыв этих групп пород. В районах, сложенных преимущественно данными группами пород, возрастает объем выноса взвешенных наносов. В целом магматические горные породы наименее благоприятны для формирования твердой составляющей селей, осадочные сцементированные – более благоприятны и осадочные несцементированные (рыхлые) – наиболее благоприятны.

Ускоренным выветриванием отличаются флиши – породы, сложенные тонкими слоями песчаника, алевролита, аргиллита. Глинистые сланцы дают при выветривании высокий процент глинистых фракций, что обеспечивает образование грязекаменных потоков связного типа. Лёссовидные грунты, в которых преобладают пылеватые частицы, легко размываются; в этих условиях формируются слабо насыщенные обломочным материалом селевые паводки. Зоны разломов, вследствие высокой трещиноватости пород, часто служат участками заложения селевых очагов или небольших селевых бассейнов.

Огромная роль в формировании селей принадлежит рыхлым четвертичным отложениям разного генезиса. В большинстве случаев именно эти породы обеспечивают твердую составляющую селей современного периода. В легко выветривающихся или размываемых горных породах селевые потоки формируются чаще. Вещественный состав селевых потоков полностью определяется составом горных пород в очагах зарождения и твердого питания селей.

Таблица 1.2. Устойчивость к разрушению и размываемость основных групп горных пород (грунтов)

Категории грунтов, согласно классификации (Теоретические..., 1985) с сокращениями и изменениями			Противодействие, устойчивость: балльная оценка по эксперимент. данным (Динамическая..., 1992)	Размываемость горных пород: неразмывающие скорости, м/с (Косов, Любимов, 1974)	Средний модуль стока взвешенных наносов в горах, т.км ² /год (Дедек, Мозжерин, 1984)
Классы	Группы и подгруппы	Основные типы			
Скальные грунты (с жесткими структурными связями)	Магматические (интрузивные и эффузивные) и метаморфические	Граниты, диориты, сиениты, габбро, перидотиты.	4	16–25	150
		Липариты, трахиты, андезиты, туфы, базальты, туфобрекчии, гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы, «зеленые сланцы», глинистые сланцы.	3		
	Осадочные сцементированные карбонатные	Известняки, доломиты, мергели	2		
Скальные грунты (с жесткими структурными связями)	Осадочные несцементированные обломочные (крупнообломочные, песчаные, пылеватые и глинистые)	Конгломераты, брекчии, гравелиты. Песчаники, туфиты. Алевролиты, аргиллиты	1	2,1–5,5	550
		Дисперсные грунты (без жестких структурных связей)	—	0,3–2,0	1300
		Валунные, галечниковые, гравийные. Пески. Супеси, суглинки, глины. Лессы, илы.	—		

Неотектонические движения земной коры. Неотектонический (неоген-четвертичный) этап развития Земли определил основные черты современного рельефа. Это не могло не отразиться на ходе экзогенных процессов. Активная роль неотектоники в современном селеформировании на региональном уровне отчетливо проявляется в районах с максимальными градиентами неотектонических движений и в пограничных зонах блоков земной коры с противоположными знаками движений в районах блоковой тектоники. Примером первых может служить южный макросклон Б. Кавказа в пределах Азербайджана и Грузии, где формируются все мощные селевые потоки региона. Пример второго типа районов – зоны сочленения хребтов и впадин Байкальского типа в Становом нагорье: селевые бассейны сосредоточены здесь на крутых макросклонах хребтов, обращенных в сторону впадин.

Сильные землетрясения. Землетрясения интенсивностью 7–8 баллов и выше сопровождаются обвалами, оползнями, земляными лавинами и могут вызвать селевые потоки непосредственно или ускорить их подготовку. Один из характерных элементов механизма формирования селей при землетрясениях – вовлечение в поток воды горных озер. Сход селей сопровождал такие сильные землетрясения, как Хаитское (1949) на Памире, Муйское (1957) в Становом нагорье. Многочисленные грунтовые лавины и оползни, переходящие в селевые потоки отмечены во время Аляскинского землетрясения 1964 г. К особенностям сейсмогенных селей относится очень большая ширина потоков – до 2 км. Селеформирующий эффект землетрясений ограничен определенными условиями: он выше, если землетрясения происходят в теплое время года, а грунтовые массы на склонах находятся в переувлажненном состоянии.

Извержения вулканов, особенно взрывного типа, часто сопровождаются сходом селевых потоков. Главными причинами возникновения селей при этом служат: спуск кратерных озер, интенсивные ливни в период извержения, интенсивное таяние снега и льда под воздействием лавы или пирокластических потоков. Вулканогенные селевые потоки образуют группу самых мощных по объему выноса и длине пути селевых явлений суши; они же служат и главными источниками опасности при вулканических извержениях. Последнее подтверждают многочислен-

ные жертвы вулканогенных селей в Японии, Филиппинах, Индонезии и др. странах. Крутые склоны действующих вулканов вместе с обилием рыхлообломочного материала на них создают благоприятную среду для формирования дождевых селей в период между извержениями.

Последствия хозяйственной деятельности. Воздействие хозяйственной деятельности на ход селевых процессов носит прямой или опосредованный характер. В первом случае речь идет о возникновении искусственных очагов зарождения селей вследствие складирования отвалов горнодобывающих предприятий, строительства водохранилищ с некачественными плотинами, дорожных и других строительных работ, с использованием взрывчатых веществ, нарушающих равновесие чехла покровных отложений на склонах. Крутые откосы отвалов образуют массу рыхлой породы, которая при обводнении начинает оползать и размываться, давая начало селевому потоку. Разрушение плотин водохранилищ в условиях горного рельефа вызывает образование прорывной волны, которая, обладая большой энергией размыва, быстро трансформируется в селевой поток.

Селевые потоки, возникающие в результате прямого изменения человеком условий формирования твердой и жидкой составляющей селей, относятся к категории антропогенных (техногенных). Их количество достаточно велико, хотя распространение носит локальный характер. Например, в Китае зарегистрировано 28 рудников, где вследствие оползания и размыва отвалов сформировались селевые потоки. В отвалах рудника близ г. Тырнауз (Кабардино-Балкария) селевые потоки формируются почти ежегодно, иногда – несколько раз в году.

Опосредованный характер воздействия человека на ход селевых процессов проявляется через уничтожение естественного растительного покрова, в особенности лесного. Этот тип воздействия начался в эпоху древних цивилизаций и продолжается до настоящего времени. Во многих горных системах верхняя граница леса опустилась на 200–400 м и более или коренные лесные сообщества замещены редколесьями, лугами, пустошами. Сведение лесов и деградация растительного покрова вследствие перевыпаса привели к возрастанию эрозии в десятки–сотни

раз и к активизации селевых процессов, включая появление новых районов селеформирования. В Индии, в штате Пенджаб (включая склоны хр. Сивалик), вследствие экстенсивного развития земледелия и скотоводства в течение нескольких тысячелетий муссонные листопадные леса сменились сухой степью. Вследствие активизации селевых и временных водных потоков плодородные земли подножья хребта заносятся их выносами. В альпийских странах Европы селевые процессы усилились вследствие освоения гор в XVIII–XIX вв. В низкогорьях Великобритании – самой обезлесенной страны Европы – случаи схода селей склонового типа стали нередким явлением. Человек «привел с собой» селевые потоки и на возвышенности равнин. Сведение лесов и распашка земель на Восточно-Европейской равнине вызвали, вместе с ростом оврагов, отдельные случаи схода селей в них.

Селевые потоки, возникшие вследствие нарушения почвенно-растительного покрова и изменения характера стока, относятся к категории природно-антропогенных. В отличие от собственно антропогенных (техногенных) распространение их носит региональный характер, поскольку сведение лесов и перевыпас охватывало, как правило, значительные площади.

1.2. СЕЛЕВОЙ БАССЕЙН

Возникновение и сход селя осуществляются в пределах небольших речных бассейнов. Бассейн, в котором периодически формируются селевые потоки, а движение их происходит по главному руслу, называют селевым. Последнее обстоятельство необходимо подчеркнуть, поскольку сложные селевые бассейны включают в себя селевые притоки – частные селевые бассейны. Если признаки движения селя в главном русле присутствуют, весь водосбор следует относить к единому селевому бассейну; при отсутствии таковых селевые притоки главного русла относятся к самостоятельным селевым бассейнам.

Как правило в верхней части бассейна происходит зарождение селей, в средней, основной по протяженности, преобладает движение потока и в нижней, короткой приустьевой части – отложение селевой массы.

Эти процессы оставляют следы в специфических видах рельефа и отложений. Таким образом, можно выделить три морфодинамические зоны селевого бассейна: зарождения, транзита и аккумуляции.

Зона зарождения может быть представлена водосборной воронкой с эрозионными врезами и признаками плоскостного смыва, ледниковым цирком с комплексом морен, мертвых льдов, приледниковых озер и др. Основная особенность зоны – наличие очагов зарождения сошедших селей в форме селевых врезов, участков обрушения и оползания грунтовых масс, размытых плотин подпрудных озер. Участки зарождения селей в высокогорьях расположены обычно в пределах альпийского и субнивального поясов, где активны гравитационные и эрозионные процессы, способствующие накоплению обломочных масс в руслах временных водотоков и у подножий крутых склонов. Очагами твердого питания селей служат скопления рыхлого материала в виде древних и современных ледниковых отложений, делювиального чехла на склонах.

Для *зоны транзита* селевого бассейна характерны признаки глубинной и боковой эрозии русла. Движение грязекаменного селя оставляет следы в форме селевых гряд и террас, водоснежного потока в форме корразии бортов в сужениях и на поворотах русла. Нередко в расширенных и более пологих участках дна долин происходит частичное отложение селевой массы, образуя селевые поля аккумуляции. Таким образом, в зоне транзита селевой поток может, как многократно наращивать объем, так и заметно сокращать его.

В *зоне аккумуляции* перенос обломочных масс сменяется их отложением. В высокогорьях, в условиях резко расчлененного рельефа и преобладания селевых потоков высокой плотности, зона аккумуляции обычно представлена конусом выноса. Конусы выноса располагаются на дне крупных долин внутри гор или у подножья хребта, нередко являясь частью более обширного пролювиального конуса выноса. Для среднегорий, рельеф которых менее контрастен и где селевые потоки отличаются меньшей плотностью, характерны рассредоточенные формы отложения селевых масс в форме полос (лент) аккумуляции вдоль русла.

Уклон тальвега или русла селевого водосбора закономерно падает от истока к устью. Диапазон осредненных значений его по морфодинамическим зонам составляет: в зоне зарождения 15–50°, в зоне транзита 8–30°, в зоне аккумуляции 2–12°.

Соотношение протяженности морфодинамических зон вдоль оси бассейна не всегда бывает равнозначным. Например, некоторые небольшие селевые бассейны, заложенные в крутых бортах горных долин с резко выраженной бровкой, представляют собой денудационную воронку, переходящую в конус выноса; здесь зона транзита практически не выражена. При значительных уклонах русла вплоть до устья, которое открывается в крупную реку или в море, не выражена на местности зона аккумуляции, так как вынесенные обломочные массы быстро размываются. Участки зарождения селей нередко располагаются в нижней (приустьевой) части долины, где сосредоточены скопления рыхлообломочных пород ледникового генезиса, например, в хребтах Станового нагорья. В этом случае почти вся площадь бассейна служит источником лишь жидкой составляющей селя.

Главными морфометрическими параметрами селевого бассейна служат площадь, длина водотока, средний уклон водотока. Площадь селевых бассейнов лежит в диапазоне от долей км² до 200–300 км², длина водотока – от долей км до 30–50 км, средний уклон водотока – от 20–40 до 600–800‰ (табл. 1.3).

Площади водосборов снеговых селей в четыре раза, а длина водотоков – в два раза меньше соответствующих параметров дождевых селей; при этом значения средних уклонов водотоков лежат в одних и тех же пределах. Для представления о распределении основных параметров селевых бассейнов воспользуемся данными по территории Грузии (табл. 1.4). Более 75% составляют бассейны с площадью менее 25 км² с длиной водотока менее 10 км и со средним уклоном водотока в диапазоне 50–500‰.

Таблица 1.3. Средние значения основных параметров водосборов дождевых (водо- и грязекаменных) и снеговых (водоснежных) селей

Регионы	Площадь, км ²	Длина водотока, км	Средний уклон водотока, ‰
<u>Дождевые сели</u>			
Украинские Карпаты	17	6	147
Северный Кавказ	24	7	200
Хр. Хамар-Дабан, южн. берег Байкала	27	9	154
Трасса БАМ, хребты Байкальский и Станового нагорья	9	4	212
<u>Снеговые сели</u>			
Хибины, Кольский п-в	6	3	122
Плато Путорана	5	3	241
Г.Эзоп и горы Дэл-Урекчен, б-н р.Колыма	3	3	129
Хр. Брукса, Аляска	3	2	206

Таблица 1.4. Распределение основных параметров селевых бассейнов Грузии (Селевые явления ..., 1987)

Площадь, км ²		Длина водотока, км		Средний уклон водотока, ‰	
Градации	%	Градации	%	Градации	%
< 5	39	< 5	49,8	> 500	4,3
5–10	17,4	5–10	28,4	500–300	17,2
10–25	21,9	10–20	14,8	300–100	54,4
25–50	9,6	20–30	4,7	100–50	15,6
50–100	7,6	30–50	2,0	< 50	8,5
> 100	4,5	> 50	0,3	—	—

Нижней границей селевого бассейна служит конус выноса. В случае схода селей в верховьях речных долин за нижнюю границу селевого бассейна следует принимать участок русла, где завершается отложение основной массы селя.

В целях изучения природы селей и разработки мер защиты от них, начиная с XIX в. предложен ряд *классификаций* селевых бассейнов. Можно выделить четыре группы классификаций, различающихся по критериям (показателям), которые служили основанием для разделения селевых бассейнов на типы или категории.

1. *Высотное положение селевых бассейнов.* С увеличением высоты гор возрастают крутизна склонов и уклоны водотоков, интенсивность процессов разрушения и сноса горных пород. Эта закономерность используется для классификации селевых бассейнов по абсолютной высоте истоков селевых водотоков. Ф. Фрех (F. Frech., 1905) на базе исследований в Альпах (Австрия) разделил селевые бассейны на высокие и низкие; в первых – сели зарождаются в высокогорьях, выше границы леса, во вторых – в средне- и низкогорьях, ниже границы леса. Именно “низкие сели”, по мнению автора классификации доступны реальному регулированию. Зональный подход использован и в классификации Л. Н. Леонтьева (1949), который для юго-восточного склона Б. Кавказа предложил разделить селевые бассейны на три типа: зарождающихся в верхней скальной зоне, в средней пастбищной зоне и в нижней лесной зоне. Д. Л. Соколовский (1957), используя результаты изучения селевых явлений на территории бывшего СССР, выделяет три типа селевых бассейнов: а) высокогорные – истоки лежат выше 2500–3000 м; объем выносов с 1 км² составляет 5–25 тыс. м³ за один сель; б) среднегорные – истоки лежат в пределах 1000–2500 м; объем выносов с 1 км² составляет 5–15 тыс. м³ за один сель; в) низкогорные – истоки лежат ниже 1000 м; объем выносов с 1 км² составляет менее 5 тыс. м³ за 1 сель. Эти характеристики дают основу для приближенного расчета объема выноса селом обломочных масс.

2. *Характеристика твердого питания селей.* Один из первых исследователей селевых явлений в России К. И. Богданович (1902) выделил для юго-восточной части Б. Кавказа три типа селевых бассейнов, различающихся по главным источникам твердого питания селей: продукты выветривания коренных пород; моренные отложения; аллювиальные, делювиальные и другие отложения рыхлого чехла. Уровень активности селевого процесса связан также с размером площади, подверженной активной денудации в пределах селевого бассейна, т. е. с площадью очагов твердого питания селей. Эта зависимость использована в классификации селевых бассейнов по степени эродированности (Г. И. Херхеулидзе, 1962). Автор выделил пять категорий селевых бассейнов, различающих

ся по площади очагов твердого питания. Средние значения площади селеобразующих очагов в этих категориях составляют 2, 4, 8, 15 и 30% площади селевого бассейна.

3. *Особенности морфологии и гидрографии* селевых бассейнов. Широко используется разделение селевых бассейнов по морфологии на два главных типа – долинные (русловые) и склоновые. Первый тип образуют значительные по площади водосборы с развитым руслом, по которому движется селевой поток. Именно эти бассейны обычно отчетливо дифференцируются на три морфодинамические зоны. Они же являются представительными для региональных характеристик и районирования. Склоновые селевые бассейны – мелкие формы склоновой денудации, располагающиеся целиком в пределах горного склона или борта долины. Они слабо врезаны; продольный профиль их русла повторяет профиль склона; объемы выноса обломочного материала незначительны (сотни – первые тысячи м³). Склоновые селевые бассейны образуют парагенетические сочетания с эрозионными и денудационными врезами, с лавиносборами.

Особенности гидрографического строения селевых бассейнов послужили основанием в классификациях П. С. Непорожного (1947) и М. С. Гагошидзе (1970). П. С. Непорожный выделяет три категории селевых бассейнов, различающиеся по сложности гидрографической сети: а) простые – с одним, обычно сухим руслом; б) сложные, когда кроме главного русла, имеется два-три притока; в) весьма сложные, когда имеется разветвленная сеть притоков. М. С. Гагошидзе разделяет селевые водотоки Грузии также на три типа, используя количественные характеристики параметров водосбора: а) простой – площадь до 50 км², средний уклон более 200‰; б) сложный – площадь 50–250 км², средний уклон более 100‰; в) горная селевая речка – площадь 100–300 км², средний уклон менее 100‰.

4. *Объем выносов и повторяемость селей.* С накоплением сведений о селепроявлениях появилась возможность подразделять селевые бассейны по таким важным количественным характеристикам, как максимальный объем выноса селем обломочного материала и повторяемость (частота схода). Максимальный объем единовременных выносов селе-

вым потоком обломочного материала характеризует мощность селей, формирующихся в данном бассейне. Диапазон значений его лежит от сотен кубических метров в мелких селевых бассейнах склонового типа до 5–10 млн кубических метров в селевых бассейнах высокогорий. Современная изученность позволяет выделить семь категорий селевых потоков по этому показателю (см. разд. 1.6).

Характеристика повторяемости селей служит одним из важных показателей активности селевого процесса. Селевые потоки сходят чаще в мелких по площади селевых бассейнах или в бассейнах, сложенных преимущественно горными породами, податливыми к выветриванию и размыву. Современная изученность позволяет выделить шесть категорий повторяемости селевых потоков.

В большинстве рассмотренных классификаций селевых бассейнов в качестве основания деления используется один показатель; подобные классификации, как правило, носят частный характер. Исследователи из Узбекистана (П. М. Карпов и др., 1976) при разработке типологии селевых бассейнов для южных отрогов Гиссарского хребта расширили число использованных показателей. Сюда вошли оценка сложности морфологии и геологического строения бассейна, а также расположение в пределах бассейна участков аккумуляции селевых выносов. Выделено четыре типа селевых бассейнов. 1) Простой: малая площадь, простое геологическое строение; отложения концентрируются на конусе выноса; характерен для предгорной и низкогорной зон. 2) Осложненный: в основных чертах подобен простому; конус выноса слабо выражен; характерен для низкогорной зоны. 3) Сложный: четковидное строение долины; сложное геологическое строение; отложение селевого материала происходит как в долине, так и на конусе выноса; характерен для среднегорий. 4) Очень сложный: в основных чертах подобен сложному; верховья располагаются в зоне современного оледенения с подпрудными озерами.

Опыт полевых исследований и картографирования селевых явлений, вместе с учетом результатов предшествующих разработок позволяет предложить *общую типологию водосборов с проявлением селевого процесса* (В. Ф. Перов, 2003). В табл. 1.5 представлены типология селевых

Класс	Характер водосбора	Тип	Морфология
Склоновые Элементарная форма проявления селевого процесса, часто в сочетании со склоновыми	Водосборы депрессий и мелких ручьев на склонах, кулуары; площадь менее 2 км ²	элементарный	Эрозионный врез в рыхлых отложениях
		парагенетический	Денудационный врез в коренных породах
Долинные Собственно селевые бассейны с систематическим сходом селей по главному руслу	Молодые слабо разработанные речные долины; площадь от 2 до 200-300 км ²	простой	V-образная долина с прямолинейным продольным профилем
		сложный	U-образная долина с вогнутым продольным профилем
		очень сложный	Ящикообразная долина со ступенчатым продольным профилем
Речные Крупные речные бассейны с эпизодическим проявлением селевого процесса в главном русле	Разработанные речные долины с поймой и террасами; площадь 1-3 тыс. км	—	Не селевое речное русло с многочисленными селевыми притоками

Таблица 1.5. Типология водосборов с проявлением селевого процесса

Особенности селевого процесса	Гидрографические особенности (на примере долины р. Баксан, Сев. Кавказ)					
	Русловая сеть	Преобладающий порядок главного водотока (по Стрелеру)	Средний уклон главного водотока, ‰	Средняя площадь, км ²	Средняя длина главного водотока, км	Объем выноса обломочного материала, тыс. м ³
Селевые отложения концентрируются у подножья склона	Тальвег временно-го водотока	I	575	1	1	1-10
Селевой процесс сочетается с эрозийным, лавинным, осыпным, оползневым	Тальвег временно-го, реже постоянного водотока					
Селевые отложения концентрируются на конусе выноса	Одно русло, не разработанное	II	332	15	6	5-500
Селевые отложения концентрируются преимущественно на конусе выноса	Главное русло с несколькими притоками (до 10)	III	150	66	14	100-3000
Селевые отложения концентрируются преимущественно в средней части долины	Главное русло с многочисленными притоками (более 10)	IV	96	114	20	100-1000
Селевой процесс взаимодействует с русловым. Характерные эффекты в главном русле: временный подпор; селевое состояние на ограниченном участке; формирование селевого паводка, редко – селевого потока в горной части долины	—	V	—	—	—	—

бассейнов и параметры соответствующих типов на примере долины р. Баксан, Северный Кавказ. Следует отметить важность включения в число показателей порядка главного водотока, по Стралеру. Порядок водотока отражает степень сложности гидрографической сети, параметры и морфологию бассейна.

“С увеличением порядка русел на единицу, приблизительно в четыре раза увеличивается водосборная площадь, в два раза – длина и уменьшается в два раза уклон продольного профиля” (Динамическая геоморфология..., 1992, с. 248). Для долин I порядка характерен треугольный поперечный профиль, II порядка – параболический, III и IV порядков – трапецевидный.

Типология включает три класса водосборов и пять типов селевых бассейнов. Класс склоновых селевых бассейнов представлен самыми малыми их формами. Обычно это водосборы небольших депрессий и временных ручьев на горных склонах площадью менее 2 км². Водоток отсутствует или имеет I порядок; продольный профиль его повторяет профиль склона. Генезис селей дождевой. Селевые потоки формируются за счет размыва делювиального чехла или скоплений обломочного материала в тальвеге и бортах временных водотоков. В районах многолетней мерзлоты начальным импульсом часто служит сдвиг участка покровного чехла (в частности – курума) по кровле мерзлых грунтов. Отложение селевых масс происходит у подножья склона в форме конуса выноса или узкой лопасти. При незначительной мощности потока оно ограничивается двумя параллельными селевыми грядами вдоль русла, на склоне. При высокой повторяемости селей у подножья склона формируется система разновозрастных гряд и врезов. Объем выноса обломочных масс склоновыми селями составляет от нескольких сотен до 10 тыс. м³. Значительная часть склоновых селей имеет природно-антропогенный генезис. В горах Б. Кавказа и Закавказья, например, их распространение «привязано» к населенным пунктам, в окрестностях которых естественный природный ландшафт максимально деградирован.

Класс склоновых селевых бассейнов подразделяется на два типа – элементарный и парагенетический; в последнем – селевой процесс сочетается со склоновыми. Характерный пример парагенетических бассейнов

в гумидных высокогорьях Центрального Кавказа – денудационные врезы, конусы выноса которых формируются за счет работы временных ручьев, селей и снежных лавин.

Класс долинных водосборов образуют собственно селевые бассейны. Морфологически это молодые, слабо разработанные долины площадью от 2 до 200–300 км². По комплексу признаков класс долинных селевых бассейнов подразделяется на три типа – простые, сложные и очень сложные. От простого к очень сложному типу растет площадь бассейна и порядок водотока, усложняется русловая сеть, изменяется поперечный профиль долины, продольный профиль водотока и ход селевого процесса. Для простых селевых бассейнов характерны V-образные долины с прямолинейным продольным профилем, одним руслом и концентрацией селевых отложений на конусе выноса. Долины сложных селевых бассейнов имеют U-образный поперечный профиль; главное русло принимает несколько притоков. Селевые отложения в основном концентрируются на конусе выноса, но частично – в средней части долины. Морфология очень сложных селевых бассейнов характеризуется ящикообразным поперечным и ступенчатым продольным профилем. Главное русло имеет многочисленные селевые и не селевые притоки. Селевые отложения концентрируются преимущественно в средней части долины, а до конуса выноса часто доходит лишь селевой паводок. Для очень сложных селевых бассейнов, в которых уклон главного водотока наименьший, в целом свойственны селевые паводки. Для них же характерен двухфазный механизм формирования селей, при котором на первом этапе происходит вынос обломочного материала притоками в главное русло, а на втором – формирование селевого потока в главном русле.

Селевые притоки в сложных и очень сложных селевых бассейнах – аналог простых селевых бассейнов, которые носят здесь характер частных, поскольку объединены в общую систему единым селевым руслом главного водотока. Для простых селевых бассейнов свойствен один генетический тип селей (дождевой), для сложных и очень сложных в условиях ледниковых высокогорий – два типа (дождевой и ледниковый). По многолетним наблюдениям в долине р. Баксан наибольшую опасность на конусе выноса представляют два типа селевых бассейнов – простой

и сложный. В простых повышена повторяемость селей, сложные дают максимальные объемы выноса. Это хорошо согласуется со спецификой выделенных типов селевых водосборов.

Крупные речные бассейны с ограниченным проявлением селевого процесса образуют особый класс водосборов. Морфологически это разработанные речные долины с поймой и террасами, площадью на Северном Кавказе 1–3 тыс. м². Как правило, они пересекают макросклон горного хребта и имеют много селевых и не селевых притоков. Выход крупных селевых потоков в основную долину может привести к временному подпору или возникновению селевого состояния на ограниченном участке главного русла. Массовый сход селей по долинам притоков в некоторых случаях приводит к формированию селевого паводка, редко – селевого потока в горной части долины. Пример возникновения селевого состояния в долине р. Терек показывают события августа 1967 г. (В. Е. Иогансон, Б. М. Муратов, 1968). Мощный селевой поток дождевого генезиса из левого притока Терека – р. Девдораки сформировал кратковременную плотину объемом около 100 тыс. м³. Прорыв ее вызвал селевую волну высотой 5–6 м, прокатившуюся по долине Терека. На протяжении 5 км дно долины было выстлано селевыми отложениями, которые подняли его на несколько метров. В расширениях долины русло разбилось на ряд рукавов, местами сдвинуто на десятки метров; уничтожено полотно автомобильной дороги, подмыты устои моста, разрушены линии связи и электропередачи.

Пример длительного подпора демонстрируют события в долине р. Баксан в июле 2000 г. (Э. В. Запороженко, 2002). Крупный селевой поток ледникового генезиса из правого притока Баксана – р. Герхожан-Су отложил на дне долины около 1,4 млн м³ обломочного материала, р. Баксан была перекрыта. Подпор привел к затоплению центральной части г. Тырнауза и был ликвидирован лишь путем искусственной прорези через созданную плотину. Возникновение селевого состояния или подпора зависит от соотношения объема селевых выносов и расхода воды в речном русле.

Общая типология горных водосборов с проявлением селевого процесса может быть использована в региональных характеристиках, при картографировании селеопасных территорий, создании кадастров и баз данных селевых явлений.

1.3. ЗАРОЖДЕНИЕ СЕЛЕЙ И СЕЛЕВЫЕ ОЧАГИ

Зарождение селей. Процесс зарождения селевых потоков весьма разнообразен. Это вытекает из многофакторной природы селей с одной стороны и многофазного (смесь воды и обломков горных пород) состава потока – с другой. Иницирующим началом процесса может служить как жидкая, так и твердая составляющая потока. Возникновение дождевого, господствующего типа селей чаще всего связано с превышением водного расхода над критическим, когда начинает разрушаться русловая отмостка. В условиях длительных дождей и переувлажнения грунтов на склонах происходит образование поверхностных оползней (сплывов или оползней-потоков), которые трансформируются в селевые потоки на дне долины. У края современных ледников первичным моментом формирования селей чаще всего служит прорыв приледниковых озер или внутриледниковых емкостей. Взрывные извержения вулканов порождают селевые потоки вследствие прорыва кальдерных озер или бурного таяния снега и льда под воздействием раскаленных частиц пирокластического потока.

Разнообразие видов зарождения селей делает необходимым их типизацию в целях систематизации данных, моделирования и расчета. А. И. Шеко (1980) по характеру первоначального сдвига твердой фазы выделил два типа зарождения селей: *эрозионный* и *оползневой*. При эрозионном типе зарождения сдвиг и перенос твердых частиц осуществляется водой или суспензией. Оползневой тип зарождения реализуется через сдвиг рыхлообломочного материала в виде сплыва или оползня-потока, с последующим нарушением структуры и превращением в селевой поток. Данная типология предназначена для использования в инженерной геологии.

Ю. Б. Виноградов (1980) выделяет три типа селевых процессов: *транспортный*, *сдвиговый* и *переходный* между ними *транспортно-*

сдвиговой. Понятие «селевой процесс» в данном случае включает в себя механизм зарождения и движения селя. Процесс транспорта наносов происходит на уклонах менее $10-12^\circ$, когда угол внутреннего трения аллювиально-пролювиальных отложений значительно превышает угол наклона русла. Сдвиговой процесс развивается на уклонах более 30° , когда угол внутреннего трения рыхлообломочных пород не намного превышает угол наклона ложбины или кулуара. Транспортно-сдвиговой процесс развивается в очагах, продольный уклон которых занимает промежуточное положение. Выделенные типы предназначены для целей моделирования и расчета.

И. Я. Боярский и В. Ф. Перов (1974) предложили в качестве критерия выделения основных типов зарождения селей использовать основные свойства селевого потока – высокую насыщенность обломочным материалом и волновой характер движения. Момент появления в русле селевой волны с крутым передним фронтом фиксирует момент рождения селевого потока. Учет последовательности приобретения потоком его основных свойств позволяет выделить три основных типа зарождения селей: *эрозионный, прорывной, обвально-оползневой* (табл. 1.6).

При эрозионном механизме зарождения вначале возрастают расход водного потока и его насыщенность, а затем возникает селевая волна. При прорывном механизме вначале формируется водная волна, а затем растет насыщенность и образуется селевая волна. При обвально-оползневом механизме селевая волна и насыщенность возникают одновременно.

Несмотря на отличие в критериях предложенная типология оказалась весьма близка двум другим, охарактеризованным выше. Она предпочтительнее для использования в целях систематизации первичной информации и в географии селевых явлений. Отметим основные особенности выделенных типов зарождения селей, которые в значительной мере являются общими для всех трех классификаций.

Эрозионный тип зарождения характерен для селей ливневого генезиса. Сток воды, плоскостной смыв и размыв склонов водосбора ведут к росту расхода и насыщенности водного потока наносами. Когда расход достигает критических значений (в среднем при 10% обеспеченности) происходит срыв естественной отмостки русла и начинается интенсивный глубинный размыв. «Вот этот переход от ненарушенной

самоотмостки русла к нарушенной и является переходом от турбулентного потока с наносами (неселевого) к селевому турбулентному потоку» (И. В. Егиазаров, 1968, с. 123). Глубинный размыв может продолжиться до подошвы данного слоя отложений, часто – до коренных пород. Он сопровождается подмывом и обрушением берегов. Скорость размыва и насыщения потока обломочным материалом зависят от гранулометрического состава пород и скорости потока: чем грубее обломочный материал и чем ниже скорости, тем меньше глубина размыва. Большинство селевых потоков с эрозионным механизмом зарождения отличаются низким объемным весом; соответственно, движение потока в зоне транзита контролируется руслом.

Прорывной тип зарождения селей реализуется при разрушении плотин естественных озер и водохранилищ. Основными типами естественных озерных плотин являются: обвально-оползневые, мо-

Таблица 1.6. Основные типы зарождения селей

Тип	Исходные процессы (явления)	Этапы процесса зарождения	Характер взаимодействия потока с руслом в зоне транзита
Эрозионный	Интенсивный поверхностный сток и паводок вследствие ливня	Плоскостной смыв и размыв склонов → возрастание расхода и насыщенности водного потока → срыв отмостки → селевая волна	Движение потока контролируется руслом
Прорывной	Разрушение плотин озер и водохранилищ	Водная волна → размыв плотины и русла и рост насыщенности потока → селевая волна	Наибольшая переработка русла вследствие значительного превышения расходов над бытовыми
Обвально-оползневой	Срыв массива водонасыщенных горных пород или снега и льда	Обводнение массива и ослабление структурных связей → срыв (оползание) с разрушением структуры и течение → селевая волна	Характерно растекание (большая ширина) потока при слабой деформации русла

ренные, плотины из ледникового льда, вулканические. Процесс разрушения плотин включает следующие этапы (В. П. Пушкаренко, А. А. Ни, 1980): 1) предшествующий суффозионный вынос в теле завала; 2) интенсивный вынос мелкозема с последующим проседанием кровли; 3) интенсивный размыв в глубину. При достижении коренных пород возрастает боковая эрозия с обрушением стенок прорана. Процесс длится считанные минуты.

Начальным импульсом зарождения прорывных селей служат экстремальные осадки и землетрясения. Быстрый спуск водоема образует водную волну, которая вовлекает в движение обломочный материал, образуя селевой поток. Поскольку расходы потока при прорыве значительно превышают бытовые, происходит существенная переработка русла в зоне транзита. В зависимости от состава породы, слагающей плотину, уклона русла и наличия в нем рыхлого материала разрушение плотины может породить как паводок, так и селевой поток. Плотины, сложенные мореной или материалом оползней, чаще сразу формируют селевой поток, а сложенные льдом – паводки (R. L. Schuster, 2000).

Обвальнo-оползневой тип зарождения селей связан с потерей устойчивости массива рыхлообломочных горных пород на склоне или в русле водотока значительной крутизны. В наиболее ясной форме процесс реализуется при переходе сплыва или оползня-потока в селевой поток. Устойчивость массива горных пород на склоне определяется соотношением сил сдвигающих и сил сопротивления. При обводнении массива может наступить момент, когда сдвигающие силы оказываются выше сил сопротивления. При отрыве и сдвиге начинается лавинное разрушение структуры породы, на несколько порядков падает ее вязкость (С. М. Флейшман, 1978). Осуществляется качественный скачок – переход от оползневого вида движения (с ядром ненарушенной структуры) к селевому (вязкопластическому). Близкая картина раскрывается при обрушениях больших объемов морен, фирново-ледяных масс, частей вулканических построек. Обогащаясь дополнительной водной составляющей в реках и озерах, лежащих у подножья склона, обломочный

материал оползней и обрушений формирует селевой поток высокой плотности. Для потоков обвальнo-оползневого типа зарождения характерно растекание (большая ширина) при слабой деформации русла.

Предложенная типология зарождения селей охватывает подавляющую часть, но не все типы процесса. Отметим некоторые виды зарождения селей ограниченного распространения. Формирование селевого потока путем регрессивной эрозии в морене ледника Джаловчат (Кабардино-Балкария) отмечено в августе 1940 г. (П. В. Ковалев, 1955). Аналогичный процесс имел место при формировании антропогенного селевого потока в песках Жаманкум под Алма-Атой в январе 1988 г. (А. Х. Хайдаров, Е. П. Шевырталов, 1989). Оригинальный механизм зарождения реализуется при взрывных извержениях вулканов в условиях залегания снежного покрова. Наложение на снежный покров раскаленного материала пирокластических потоков вызывает бурное снеготаяние; отдавшие тепло продукты извержения (преимущественно песчано-гравийные по составу) становятся твердой составляющей зарождающегося селевого потока, вместе с материалом предшествующих извержений. В данном случае можно говорить о зарождении селя вследствие одновременного «появления» (новообразования) на склоне вулкана твердой и жидкой составляющей.

Следует различать понятия «зарождение» и «формирование» селевых потоков. Как правило, зародившись в верховьях селевого бассейна, селевой поток продолжает формироваться в зоне транзита, уменьшая или увеличивая параметры. Одним из вариантов формирования служит ситуация, при которой селевой поток, зародившийся в притоке основной реки, создает в последней временную плотину, прорыв которой вызывает образование второго селевого потока уже по руслу основной реки. В этом случае можно говорить о *двухтактном механизме формирования селя*. Подобный случай отмечен, например, на р. Садон (Северная Осетия) в июле 1958 г. (В. В. Агибалова, 1983).

Селевые очаги. Участки селевого бассейна, где происходит зарождение селя, называют селевым очагом. От селевого очага следует отличать *очаг твердого питания* селей, под которым понимается массив горных пород, который может быть вовлечен в движущийся селевой

поток, обогатив его твердую составляющую. На первом этапе исследований селевые очаги связывали с элементарными формами рельефа или с участками проявления склоновых процессов, не всегда отличая собственно селевые очаги от участков твердого питания. С. Н. Матвеев (1946) выделил для Заилийского Алатау, в качестве характерных следующие группы селевых очагов: 1) эрозионные рытвины в рыхлообломочных отложениях; 2) эрозионные врезы в скальных породах склонов; 3) береговые ниши срыва, наблюдающиеся при сходе селя; 4) оползни и оплывины. А. В. Ермаков (1962), отталкиваясь от результатов исследований на Центральном Кавказе, выделяет следующие типы селевых очагов: 1) эрозионные – овраги, рытвины, мелкие долины, заложенные в рыхлых отложениях; распространены повсеместно; 2) обвальноссыпные – осыпные конусы, шлейфы, тальвежные и русловые осыпи; чаще встречаются в субнивальной зоне; 3) оползневые – обычно за счет подмыва основания; встречаются, главным образом, в альпийской зоне; 4) оплывные – срывы на склонах, образующиеся в результате разжижения отложений и их сползания или течения; самый редкий тип селевых очагов. Автор отмечает также существование сложных типов селевых очагов. На Центральном Кавказе таким является эрозионно-денудационный, широко развитый в высокогорьях. В селевом бассейне очаги могут быть одного или нескольких типов.

М. С. Гагошидзе (1970) выделяет селеобразующие очаги, в которых происходит накопление продуктов разрушения горных пород и зарождение селей и простые очаги, которые снабжают сель обломочным материалом, вынесенным предшествующими селями и паводками. В первом случае речь идет о селевых очагах, во втором – об очагах твердого питания. На основе исследований, проведенных в Грузии, он выделил следующие типы селевых очагов: 1) эрозионные врезы; 2) моренные отложения; 3) оголенные поверхности крутых склонов; 4) завалы русла и завальные озера.

Пример генетической типологии очагов твердого питания селей дают исследователи Узбекистана (П. М. Карпов и др., 1976): 1) водно-аккумулятивные (главным образом, конусы селей боковых прито-

ков); 2) гравитационные (осыпи, обвалы, оползни); 3) гляциальные (отложения фронтальных морен); 4) очаги денудации (оголенные участки склонов).

В классификации А. И. Шеко (1980) выделены четыре группы очагов зарождения селей: 1) очаги, связанные со скоплением материала в руслах временных и малых водотоков; 2) очаги, связанные с подпруживанием рек; 3) очаги, связанные с деятельностью современных ледников; 4) очаги, связанные с деятельностью вулканов.

Группы подразделяются на классы и типы. Последние представлены типами экзогенных процессов, инициирующих зарождение селей, или типами селеформирования. В классификации раскрывается также характер формирования твердой и жидкой составляющей селей, как и самого селевого потока. В данном случае речь идет не столько о классификации очагов зарождения, сколько о попытке типологии процессов зарождения и формирования селей.

Поскольку плотность и объем выноса обломочного материала селем связаны с условиями твердого питания, параметры очагов зарождения и твердого питания используются в расчетных схемах. И. И. Херхеулидзе (1962) для ориентировочных расчетов общего объема несвязного селя и возможного объема селевых отложений предложил использовать показатель эродированности селевого бассейна. Этот показатель получается путем сложения всех площадей с активными экзогенными процессами и участков возможного твердого питания селей в пределах селевого бассейна. К селевым очагам автор относит: обнаженные оползневые и обвальные участки, участки камнепадов, накопленные в днищах ущелий, на склонах и террасах продукты разрушенных пород, аллювиальные русловые отложения. Общая площадь селевых очагов и очагов твердого питания селей варьирует от 1 до 40% площади бассейна. Для использования в расчетах автор подразделяет селевые бассейны на пять типов по степени эродированности.

Другой подход использования типологии селевых очагов для моделирования и расчета селей представлен в “Руководстве по изучению селевых потоков” (1976). Типология включает две группы очагов: локального и рассредоточенного селеобразования. В первой группе – очаг

рассматривается как индивидуальный объект, во второй – как площадь, в пределах которой находится большое количество локальных микроочагов. Очаги рассредоточенного селеобразования представлены обнажениями разрушающихся горных пород, угол наклона которых близок к углу естественного откоса (35–55°). В группе локальных очагов выделены типы: селевые врезы, селевые рывтины, скальные селевые кулуары. Врезы обычно приурочены к перегибам склонов в зоне распространения древних морен, рывтины – к склонам с маломощной корой выветривания, скальные – к верхним частям горных склонов, сложенных коренными скальными породами.

Таким образом, к селевым очагам следует относить участки селевого бассейна, в пределах которых происходит зарождение селевого потока. Обычно они располагаются в верховьях селевого водотока, но нередко в средней и даже в нижней его частях. К очагам твердого питания селей относятся участки селевого бассейна в зонах зарождения и транзита, в которых существуют массивы горных пород, способные к смещению или размыву, т. е. к вовлечению их в селевой поток. Участки с признаками такого смещения или размыва фиксируют сработавшие очаги твердого питания, остальные относятся к категории потенциальных.

Типология и параметры селевых очагов и очагов твердого питания селей используются для моделирования и расчета потоков. В одних случаях для удобства расчета выделяется ограниченное количество характерных типов селевых очагов, в других – для оценки степени эродированности селевого бассейна учитываются все участки селевых очагов и твердого питания.

Реальные типы и виды селевых очагов весьма разнообразны, в зависимости от типа зарождения и генезиса. При эрозионном типе зарождения селевой очаг фиксируется местом формирования селевой волны в русле водотока, при обвально-оползневом – местом срыва грунтовых (снежных, ледовых) масс на склоне или в ложбине, при прорывном типе – врезом в теле естественной плотины, подпруживавшей озеро.

В некоторых снежниковых и связных селях очаг зарождения представлен местом накопления продуктов выветривания и созревания селевой смеси, начало истечения которой при переувлажнении фиксирует момент зарождения селя.

Общим правилом *идентификации селевого очага* на местности (точнее – его нижней границы) служит присутствие ниже него непрерывных следов движения селевого потока в форме селевых гряд, террас, врезов, скоплений селевых отложений.

Селевой очаг – не постоянное образование в пространстве и времени. Есть случаи «одноразовых» селевых очагов, когда в процессе формирования селевого потока выносятся практически весь объем рыхлообломочных отложений, способных к смещению и размыву. В других условиях формируются селевые очаги многократного действия. Примером последних могут служить короткие оврагообразные долины, заложенные в активно выветривающихся пестроцветных мезозойских толщах (Западный Тянь-Шань) или водосборные воронки низко- и среднегорий с деградированным ландшафтом и сложенные с поверхности лёссовидными суглинками (Ферганская котловина).

В случае, когда в верховьях селевого водотока имеются многочисленные денудационные врезы, заполненные продуктами выветривания, наблюдается «миграция» селевых очагов от одного случая схода селя к другому (селевые бассейны Терскол и Кубасанты в долине р. Баксан, Кабардино-Балкария).

Массовый сход селей нередко сопровождается образованием новых селевых очагов. Например, на хр. Хамар-Дабан после многочисленных селей 1971 г. возникло около 20% новых очагов от числа ранее существовавших; площадь некоторых старых очагов возросла до 10–15% (Р. В. Хонин, 1978). Сравнение расположения очагов зарождения водоснежных потоков в Хибинах 1977 и 1987 гг. (годы массового схода) показало, что очаги 1987 г. лежат в среднем на 200 м ниже по абсолютной высоте по сравнению с очагами 1977 г. (Водоснежные потоки..., 2001).

1.4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ДВИЖЕНИЕ СЕЛЕЙ

Состав и типология селей. Смесь обломков горных пород и воды, образующая тело движущегося селевого потока, называется *селевой смесью*. Здесь необходимо уточнить, что селя это не просто механическая смесь воды и обломков, а некоторая функциональная смесь. Функция в переносном смысле это «явление, зависящее от другого и изменяющееся по мере изменения этого другого явления» (Л. П. Крысин. Толковый словарь иноязычных слов. М., Изд-во «Рус. язык», 1998, 765 с.). В отношении селевого потока это проявляется в изменении свойств селевой смеси и особенностей движения в зависимости от изменения свойств твердой составляющей, состояния жидкой составляющей и соотношения их объемов.

Общей особенностью селевой смеси служит ее полидисперсность: здесь могут присутствовать обломки от глинистых до глыб с поперечником 2–4 м и более. В зависимости от состава горных пород, распространенных в пределах селевого бассейна, в гранулометрическом составе селевой смеси могут преобладать пылевато-глинистые, песчаные, гравийногалечные фракции. Смесь мелкоземистой части обломков (диаметром менее 1 мм) с водой образует *селевую суспензию*. Жидкая составляющая селевых потоков представлена не чистой водой, а селевой суспензией. Селевая суспензия обладает повышенной транспортирующей способностью.

Другая важная особенность селевой смеси – огромный диапазон соотношения водной и жидкой составляющей. Нижнюю границу селевых явлений образуют потоки, близкие к паводкам, верхнюю – близкие к опльвинам. В первом случае это водные потоки с незначительным количеством обломочного материала, во втором – это грязекаменная масса с незначительным количеством воды. Соответственно, объемный вес или плотность селевой смеси лежит в широком диапазоне – от 100 до 2500 кг/м³. С различиями в объемном весе и гранулометрическом составе селей связаны и особенности их движения.

Разнообразие селевых потоков по гранулометрическому составу твердой составляющей, плотности, особенностям движения делает актуальной разработку их типологии. Существуют разные подходы к выделению типов селевых потоков. При этом количество последних варьирует от двух до пяти. Одно из устойчивых подразделений основано на различиях в вещественном составе селевой смеси. Выделено три категории селевых потоков: *грязекаменные*, *грязевые*, *водокаменные* (М. А. Великанов, 1945). Селевая смесь грязекаменных потоков представлена разнородным материалом – от тонкодисперсного до крупных обломков. Грязевые потоки представляют собой густую грязевую массу, движущуюся валом и с близкими скоростями; формируются в селевых бассейнах, сложенных преимущественно песчано-глинистыми и лёссовидными грунтами. В селевой смеси водокаменных потоков содержание тонкодисперсных фракций незначительно. Приближенный диапазон значений объемного веса селевой смеси трех типов потоков составляет: грязекаменных – 2100–2500 кг/м³, грязевых – 1600–2000 кг/м³, водокаменных (наносоводных) – 1100–1500 кг/м³ (В. А. Виноградов, 1980). Пример использования этой классификации в региональных исследованиях представлен в книге, посвященной экзогенным процессам в Узбекистане (Р. А. Ниязов и др., 1986).

Однако большинство исследователей делит селевые потоки на два типа, качественно отличных один от другого (табл. 1.7).

В большинстве случаев основным критерием разделения служит соотношение твердой и жидкой составляющей селевой смеси и прямо связанный с ним характер движения. Отметим основные различия двух категорий селевых потоков, сохранив их первоначальные названия – *грязекаменные* и *водокаменные* потоки. Грязекаменный поток: высокая плотность, состоит преимущественно из разнородного обломочного материала, обладает вязкопластическими свойствами, движется под действием силы тяжести. Водокаменный поток: низкая плотность, состоит преимущественно из воды или селевой суспензии, перенос обломочных масс происходит за счет транспортирующей способности воды, движется подобно жидкости.

Таблица 1.7. Названия и определение двух категорий селевых потоков по разным авторам

Голуб, 1938	Каки 1954 (по Тевзадзе, 1975)	Гагшидзе, 1970	Флейшман, 1970	Тер-Степанян, 1968	Pietron, Costa, 1987	Руководящий документ..., 1990
1	2	3	4	5	6	7
Грязекаменный поток: смесь мелкозема, каменного материала и ничтожного количества воды; поток представляет собой вязкую густую массу	Ямацунами (горный поток, черная волна) состоит на 70% из твердой составляющей и на 30% из жидкой фазы	Структурный грязевой поток. Селевая масса – конгломерат из грязекаменной массы; твердых материалов – 80-90% по весу	Связный селевой поток: вода связана тонкодисперсной составляющей, происходит совместное гравитационное движение селевой массы.	Гиароанамический селевой поток: взвешивание твердой фазы происходит за счет гидродинамического давления	Селевой поток: грязевой поток, движение которого управляется преимущественно силами инерции и вязкости; включает инерционный и вязкий варианты потоков	Грязекаменный селевой поток, состоящий из обломков горных пород, странство между которыми заполнено смесью воды, глинистых и песчаных частиц; обладает вязкопластическими свойствами
Волокаменный поток: смесь воды и камней с ничтожным количеством мелкозема; движущая сила – вода	Додекиро (грязекаменный поток) состоит на 70% из воды и на 30% из твердой составляющей	Турбулентный селевой поток (селевой паводок) Транспортирующая среда – вода, обогащенная коллоидной взвесью из гидрофильных минералов. Твердого материала – 20-30% по весу	Несвязный селевой поток: основная масса воды находится в свободном состоянии и является транспортирующей средой для твердой фазы потока	Турбулентный селевой поток: взвешивание твердой фазы происходит за счет турбулентности	Сверхконцентрированный водный поток: текучая смесь воды и частиц, которая движется подобно жидкости	Наносоводный селевой поток, переносащий большое количество взвешенных и мелкокомых наносов за счет своей транспортирующей способности

В другом разделении селевых потоков на две категории, кроме соотношения твердой и жидкой составляющих учитываются гранулометрический и минералогический состав твердой составляющей и структурно-реологические модели движения (М. С. Гагошидзе, 1970; С. М. Флейшман, 1970 и др.). Это связные (структурные) и несвязные (турбулентные) селевые потоки (табл. 1.8).

Формирование связного селя происходит при значительном содержании (более 12%) в твердой составляющей тонкодисперсных (пылевато-глинистых) частиц. Не менее важен и минеральный состав этих частиц, поскольку разные минералы обладают разной водоудерживающей способностью. Если одна частица каолинита связывает 1,6 равных по объему частиц воды, то одна частица монтмориллонита удерживает их 16,5. При определенных условиях основная масса воды селевого потока оказывается в связанном состоянии, а селевая смесь приобретает свойства единого вязкопластичного тела. Такой поток движется в форме скольжения, подобно пластическому квазитвердому телу, а при остановке застывает, не распадаясь на составляющие (без сортировки по крупности). Подобные потоки относятся к категории связных. К несвязным относятся потоки низкой плотности, с преобладанием жидкой составляющей, т. е. свободной гравитационной водой и турбулентным режимом движения; в зоне аккумуляции происходит частичная сортировка обломочного материала.

От водокаменного селевого потока к обычному водному паводку нет резко выраженной границы, но имеется некоторая переходная зона. Потоки в пределах этой зоны несут черты и паводков, и селевых потоков. Это нашло отражение в их названиях: «сельпаводки», «селепаводки», «селевидные паводки» и, наконец, «селевые паводки». Последнее рационально закрепить в селеведении (В. Ф. Перов, 1996). Селевые паводки отличаются от собственно селевых потоков слабой насыщенностью обломочным материалом (объемный вес 1050–1200 кг/м³), а от паводков – кратковременностью и селевым типом гидрографа. Аккумулятивные формы селевого рельефа – гряды, террасы, конусы выноса – представлены в слабо развитом виде. Например, вместо селевых гряд здесь формируются плоские полосы аккумуляции (С. М. Флейшман, В. Ф. Перов, 1986).

Таблица 1.8. Основные характеристики структурно-реологических типов селей (по М. С. Гагошидзе, 1970; С. М. Флейшману, 1970; А. Медеуову и др., 1993; О. Г. Натишвили, В. И. Тевзадзе, 1996; и др.)

Показатели	Структурно-реологические типы селей	
	связный	несвязный
Преобладающие горные породы в очагах зарождения	Глины, глинистые сланцы, алевролиты, мергели, лессы, лессовидные суглинки	Гранитоиды, эффузивы, ледниковые отложения грубообломочного состава
Преобладающий минералогический состав, коллоидно-дисперсной части селевой смеси	Монтмориллонит и гидрослюда	Гидрослюда и каолинит
Соотношение твердой и жидкой составляющей	Твердый материал 80–90%, вода 10–20% по весу	Твердый материал 20–30%, вода 70–80% по весу
Объемный вес селевой смеси, кг/м ³	1700–2500	1100–1800
Транспортирующая среда	Конгломерат из грязекаменной массы	Селевая суспензия
Характер движения	Скольжение; движется подобно пластическому квазитвердому телу; внутреннее перемешивание отсутствует	Течение; характерен турбулентный режим движения с активным перемешиванием селевой смеси
Скорость, м/с	До 2–4	До 10–15
Воздействие на русло	Сглаживает неровности, «штукатурит» дно и борта	Активная глубинная и боковая эрозия
Поведение селевой смеси в зоне аккумуляции	Структура смеси полностью сохраняется, сортировки по крупности обломков не происходит	Характерна частичная сортировка смеси по крупности обломков
Распространение	Ограниченное (локальное); определяется составом горных пород в очагах зарождения	Повсеместное (господствующее)

Таблица 1.9. Основные категории селевых потоков по соотношению твердой и жидкой составляющей селевой смеси

Категория	Объемный вес селевой смеси, кг/м ³	Основные свойства
Грязекаменный сель (высокой плотности)	1700–2500	Поток с преобладанием твердой составляющей, представленной смесью грубообломочного и тонкодисперсного материала. Движение потока управляется преимущественно силами инерции и вязкости. Разнообразием грязекаменных селей служит грязевой сель, в твердой составляющей которого преобладают тонкодисперсные частицы. Грязекаменные сели по структурно-реологической модели движения могут быть связными и несвязными
Водокаменный сель (низкой плотности)	1100–1800	Механическая смесь воды и обломков горных пород, с преобладанием водной составляющей; в твердой составляющей господствует грубообломочный материал. Транспортирующей средой служит вода или селевая суспензия; обломки перемещаются во взвешенном и влекомом состоянии. Водокаменный сель по структурно-реологической модели движения относится к категории несвязных
Селевой паводок	1050–1200	Тип потока, занимающий промежуточное положение между водным паводком и селевым потоком. От селей отличается слабой насыщенностью обломочным материалом, от паводков – кратковременностью и селевым типом гидрографа. Основная форма воздействия на ложе – переформирование русла; аккумулятивные формы селевого рельефа слабо развиты

Основная форма воздействия – переформирование русла. Селевые паводки широко распространены в низко- и среднегорьях всех природных зон стран СНГ – от субтропической до субарктической.

Таким образом, можно выделить три основных типа селей или устойчивых форм селевого стока: грязекаменные сели (потоки высокой плотности), водокаменные сели (потоки низкой плотности), селевые паводки (табл. 1.9).

Разделение селевых потоков на связные и несвязные основано на другом показателе – физическом состоянии жидкой составляющей селевой смеси (табл. 1.10).

Если водокаменные селевые потоки относятся по модели движения к категории несвязных, грязекаменные потоки могут быть как связными, так и несвязными. Последнее объясняется, например, незначительным количеством тонкодисперсного материала, неблагоприятной минералогией глин, большими уклонами русла.

Типы движения селей. Выделяется два основных типа движения селей – турбулентный и структурный. *Турбулентный* – главный тип движения всех видов селей, как грязекаменных, так и водокаменных. Для турбулентного типа движения грязекаменного селя характерно интенсивное перемешивание селевой смеси. Непрерывная переупаковка крупных обломков создает исключительную бурность потока, которая сопровождается гулом и вибрацией поверхности земли. Поверхность потока представляет собой как бы кипящий слой с облаком мелких капель селевой суспензии над ней (рис. 1.1.)

В водокаменном потоке после разрушения отмытки русла начинается движение всех наносов, слагающих русло. Поток предельно насыщается твердым материалом. При массовом влечении всех фракций наносов мелкие частицы перемещаются во взвешенном состоянии, крупные – в виде скачка в придонной области потока (рис. 1.2).

Структурный тип движения характерен для грязевых и грязекаменных селевых потоков связного типа. Он реализуется при малых значениях глубины и уклона. Селевой поток скользит как единое целое по тонкому слою глинистой суспензии. Тело потока при этом практически не деформируется.

Таблица 1.10. Основные типы селевых потоков и характер связи между ними

Главные критерии выделения	Типы потоков
<p>Соотношение твердой и жидкой составляющей селевой смеси</p> <p>Физическое состояние жидкой составляющей селевой смеси</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Грязекаменный сель (высокой плотности)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Водокаменный сель (низкой плотности)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Селевой паводок</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Связный сель</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>Несвязный сель</p> </div> </div>

Рис. 1.1. Селевой поток в движении. Натурный эксперимент по воспроизведению селевых потоков в бассейне р. Чемолган. Заилийский Алатау, Казахстан, 1973 г.

Максимальный диаметр транспортируемых обломков во всех типах селей соизмерим с глубиной потока.

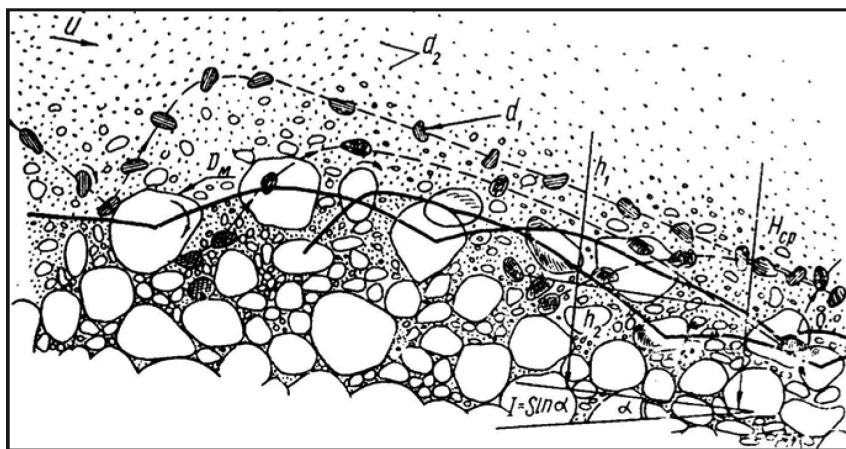
Приводим три описания, раскрывающих детали картины схода селей.

1. Грязекаменный селевой поток, возникший вследствие ливня в бассейне р. Ибей 13 августа 1876 г., Кот-



ские Альпы, Франция. «Это была смесь земли и каменных глыб всевозможных величин, жидкая, как бетон. Спереди сель как будто двигал перед собой целый авангард больших глыб, иногда в 5–6 кубических метров объема, наполовину погруженных в очень густую грязь.... Вся эта масса обладала неодинаковой скоростью. Движение ее было иногда довольно сильно, иногда же крайне медленно... . Можно бы сказать – это была река грязи... . Поперечный профиль всегда оставался очень выпуклым, когда сель поднимался и всегда вогнутым, когда он уменьшался.

Рис. 1.2. Механизм и форма движения наносов в турбулентных селевых потоках: U – средняя скорость селевого потока; d_1 – частицы наносов, двигающихся в виде скачка в придонной области потока; d_2 – взвешенные частицы; h_1 – глубина потока; h_2 – мощность движущегося слоя; H_{cp} – общая глубина потока; I – уклон русла; D_m – максимальный диаметр наносов (П. М. Карпов и др., 1976)



Густой сель спускался около 20 минут... . Но этот сель делался все более и более жидким и двигался с возрастающей скоростью. Скоро вода появилась в изобилии: она яростным ручьем текла поверх селя, двигавшегося более медленно... . Наконец, когда все впереди было сметено, вода стала почти чистою. Она тогда потекла сверх селевой грязи, осевшей в глубине русла, и, получив способность подрывать, выкопала себе проход посреди обломков. Тогда уже не было видно материалов, кроме нескольких остатков, приставших к откосу, и отмечавших до какой высоты поднимался сель» (П. Демонце, 1891, с. 299–301).

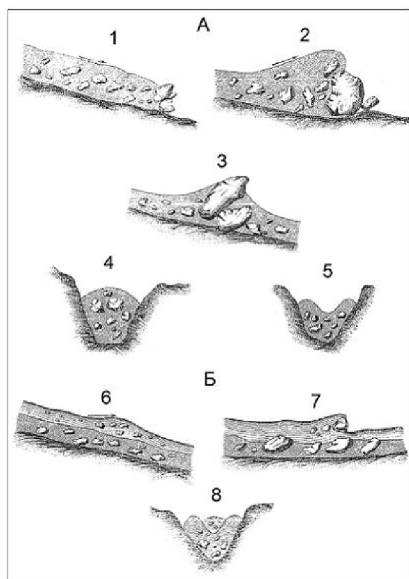


Рис. 1.3. Изменения состава и форм движения селя в процессе его схода. А – селевой грязекаменный поток: 1 – сель с глыбами в передней части фронта; 2 – реакция фронта потока на препятствие; 3 – воздымание глыб над поверхностью потока; 4 – форма поверхности селя при подъеме уровня; 5 – форма поверхности селя при спаде уровня. Б – слой воды на поверхности грязекаменного селя: 6 – в продольном разрезе; 7 – слой воды включает крупные обломки; 8 – расположение слоя воды в поперечном разрезе (по П. Демонце, 1891)

Описание сопровождается рисунком, на котором представлены продольные и поперечные «разрезы» потока в разные периоды схода (рис. 1.3).

Отметим особенности динамики селя, отмеченные наблюдателем: 1) передний фронт потока состоит преимущественно из крупных глыб; 2) изменение поперечного профиля потока: при возрастании расхода он становится выпуклым, при снижении – вогнутым; 3) в конце схода селя состав потока из грязекаменного трансформируется в водный, который размывает отложения грязекаменного потока; 4) примазки грязевой массы на бортах русла фиксируют высоту селевого потока над ним. Аналогичные особенности отмечались позднее другими очевидцами.

2. Грязекаменный селевой поток, возникший вследствие ливня на р. Куро 8 августа 1955 г., бассейн р. Терек, Центральный Кавказ, Грузия. «... Сель появился из-за поворота русла в виде вала высотой порядка 1–1,5 м. Он представлял собой густую грязь, включающую камни диаметром до 1 м, реже встречались валуны диаметром 2 м и более. Движение шло волнами; спады чередовались с новыми грязекаменными валами. Временами, когда двигалась большая масса крупных камней, поверхность потока становилась выпуклой. Более крупный материал постепенно отжимался к берегам и откладывался, затем вновь подхватывался

очередным валом. При этом поверхность потока напоминала реку, наполненную как бы шугой черного цвета.

Скорость течения составляла 2 м/с. На поворотах и в сужениях поток постоянно создавал заторы, которые быстро прорывались; скорость его при этом возрастала до 3–5 м/с. Прорвавшийся вал эродировал берега, а селевая масса выплескивалась на стенки русла, и из нее вылетали отдельные камни. Движение потока сопровождалось сильным шумом. Иногда, при понижении уровня поверх потока, в перерывах между двумя волнами прослеживалась струя более светлой воды, текущая вдоль стрежня. Это происходило в результате уменьшения транспортирующей силы потока, когда часть наносов осаждалась». (В. Е. Иогансон, 1957, с. 88–89).

Таким образом, автор констатирует: 1) волновой характер движения селя; 2) изменчивость динамики потока: при уменьшении расхода происходит частичное осаждение обломочных масс, при возрастании – их повторное вовлечение в поток.

3. Р. Акжар, бассейн р. Аксай, северный склон Заилийского Алатау, Казахстан. Сель вызван ливнем в первой половине лета 1969 г. Описание В. И. Полянской демонстрирует переход от структурного режима движения к турбулентному: «Первый селевой вал – это густая грязевая масса с камнями от четверти до одного метра в диаметре, настолько компактная и плотная, что движется как одно целое, словно утюг, медленно, но неотвратно. За головой движение жижи ламинарное без струй и завихрений. В отдельные моменты кажется, что камни медленно плывут. С увеличением скорости по мере разжижения потока камни догоняют друг друга, соударяются, перекатываются. Движение становится все более турбулентным». (Ю. Б. Виноградов, 1980, с. 90).

Волновой характер движения. Другим важным свойством движения селей, после качественных различий в режиме движения является его волновой или пульсационный характер

Селевой поток в гидромеханическом отношении можно определить как однократную или многократную нисходящую прерывную волну, движущуюся по условно сухому руслу. Селевые волны характерны для

грязевых и грязекаменных селей связного типа. Количество волн при сходе селя колеблется от 1 до 100–200. Интервал между волнами или длительность их прохождения в большинстве случаев составляет от 2–3 до 20–30 минут. Высота фронта волны колеблется от 0,5–1,5 до 11–12 м; она в 1,5 раза превышает толщину тела волны. В строении фронта волны, как правило, участвуют крупные обломки, доля которых здесь выше по сравнению с телом волны.

Относительно объяснения причин волнообразования при сходе селей существует два подхода. Одна группа исследователей связывает формирование волн с разнообразными частными причинами, другая видит в этом процессе одно из коренных свойств селевого потока. Среди частных причин рассматриваются: образование заторов и их прорыв; разновременный сход селей с отдельных притоков; неодновременное вовлечение в селевой поток порций рыхлообломочного материала склонов; резкое изменение уклона русла; воздействие неселевых притоков, разжижающих связной селя; перерывы в поступлении воды в селевой очаг; тормозящее влияние группы крупных глыб и валунов, соизмеримых с шириной и глубиной потока.

Другие исследователи рассматривают образование волн в качестве важнейшего свойства, присущего природе явления. Т. Г. Войнич-Сяноженцкий и Г. М. Беручашвили (1970, с. 31) относят сели к потокам лавинного характера, которым «свойственны именно неустановившиеся режимы движения в форме распространения прерывной волны (или системы волн) перемещения наносонесущих потоков. И. Я. Боярский и В. Ф. Перов (1974) рассматривают формирование селевой волны как момент зарождения селя. Волновой характер движения и высокая насыщенность селевого потока обломочным материалом – два главных свойства, определяющие специфику явления; способы и последовательность приобретения потоком этих свойств положены в основу типизации механизмов зарождения селя (см. гл. 3).

Результаты эксперимента по воспроизведению искусственных селей на р. Чемолган (Заилийский Алатау, Казахстан), по масштабу аналогичных природным, подтвердили правоту второго подхода. Поскольку заторов в очаге зарождения не было, а волнообразование

реализовалось, авторы пришли к заключению, что волновой характер движения является одной из сторон динамики селевого процесса (Ю. Б. Виноградов, 1976). Это положение подтверждается при

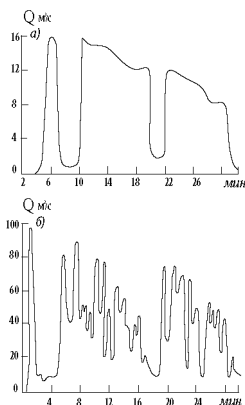


Рис. 1.4. Гидрограф водного пуща в Чемолганский очаг (а) и соответствующий ему гидрограф селевого потока (б) в эксперименте 1973 г. (Б. С. Степанов, Т. С. Степанова, 1991)

сравнении гидрографов пуща воды в Чемолганский очаг и соответствующего ему гидрографа селевого потока (рис. 1.4).

Этапам равномерного водного пуща по времени соответствуют периоды пульсационного (волнового) движения сформированного селевого потока.

Гидрограф селя. Гидрограф селя представляет собой график, характеризующий изменение расхода селевого потока за время его прохождения в зоне транзита. В связи с волновым характером движения, присущим большей части селевых потоков, гидрограф селей в общем виде представляет собой пилообразную кривую. Профиль зубцов такой «пилы» резко ассиметричен, поскольку время

подъема расходов от бытового к максимальному незначительно, а время спада растянуто. Пики максимальных расходов фиксируют момент прохождения фронта очередной волны селя. Отметим основные отличия гидрографа селя от гидрографа водного паводка: коэффициент асимметрии значительно больше соответствующего значения паводка, вследствие существования крутого переднего фронта волны селя; общая продолжительность в среднем на порядок короче; максимальные расходы в десятки раз превышают соответствующие значения водного паводка в русле.

Перекося поверхности селевых потоков на повороте русла. Подобно речному, селевой поток на повороте русла испытывает деформацию поверхности в поперечном профиле, т. е. превышение уровня у одного берега над уровнем у другого. Причинами служат воздействие центробежной силы и повышенная инерционность селевого потока в связи с

высоким объемным весом селевой смеси. Уровень потока у вогнутого берега может превышать уровень потока у выпуклого берега на 3–8 м в крупных селевых бассейнах (И. В. Боголюбова, 1957). Такие участки вогнутого берега характеризуются усиленной эрозией (корразией) борта русла или частичной аккумуляцией селевой смеси и даже ее выбросом. В случае значительной протяженности таких выбросов (десятки метров и более) они приобретают форму «аппендикса» и хорошо читаются на местности и аэрофотоснимках, т. е. служат дополнительным признаком при идентификации селевых процессов.

Изменение гранулометрического состава селевой смеси в процессе движения. Как показали специальные исследования (В. Н. Вардугин, 1977), гранулометрический состав селевой смеси не остается неизменным на пути от места зарождения селя до его остановки на конусе выноса. Эти изменения качественно различны в двух главных типах селей – грязекаменных (высокой плотности) и водокаменных (низкой плотности). В селевых отложениях грязекаменных селей содержание пылевато-глинистых фракций ($< 0,05$ мм) возрастает в 1,6–2,4 раза по сравнению с породой в селевых очагах. Это происходит вследствие перемалывания (истирания, измельчения) мелких обломков за счет существования жесткого скелета из крупных обломков и турбулентного режима движения. Чем выше турбулентность и больше длина пути потока, тем выше процент вновь образованных тонкозернистых частиц.

В водокаменных потоках, в противоположность грязекаменным, содержание пылевато-глинистых частиц на конусе выноса уменьшается по сравнению с их содержанием в очагах зарождения. Это происходит вследствие выноса тонкозернистых частиц во взвешенном состоянии водным потоком, поскольку отложение селевой смеси на конусе выноса сопровождается сортировкой по крупности.

Корразионное воздействие селя. В случае, когда селевой поток движется по скальному ложу, сложенному выходами магматических или метаморфических пород, он оказывает на них коррадирующее воздействие. В наибольшей мере это относится к грязекаменным потокам, которые вместе с высокой плотностью отличаются турбулентным режимом движения. Пульсация скоростей, непрерывная переупаковка обло-

мочного материала в селевой смеси делают неизбежным удары крупных обломков о скальное ложе и их волочение по нему. Происходит соскабливание некоторого слоя горной породы. О реальности и масштабе коррадирующего воздействия селя дают представление результаты эксперимента, поставленного автором в бассейне р. Чемолган (Заилийский Алатау, Казахстан) 22 августа 1973 г. (В. Ф. Перов, 2008).

Бассейн р. Чемолган был выбран коллегами из КазНИИ Гидрометеослужбы для организации искусственных селевых потоков, по масштабам близким к природным. Формирование селя осуществлялось путем попусков воды из водохранилища в очаг зарождения – врез в верхнеплейстоценовой морене. Ниже вреза расположен участок русла, заложенный в скальных горных породах протяженностью около 0,5 км. Для оценки коррадирующего воздействия селя в средней и верхней частях этого участка в скальном ложе русла шлямбуром были подготовлены шесть микроскважин глубиной от 31 до 107 мм и диаметром 38–40 мм. Основные параметры прошедшего селевого потока на участке измерений таковы: общая продолжительность – 4 часа; максимальная глубина от 2 до 3,5 м; скорость – от 3 до 6 м/с. (А. Е. Земс и др., 1976; М. Д. Спекторман, 1976). Сход селевого потока разделен на две части – основную и «шлейфовую», характеристики которых различаются (табл. 1.11).

Таблица 1.11. Параметры селевого потока 22 августа 1973 г.

Части потока	Время, мин.	Объем, тыс. м ³	Расход, м ³ /с	Ср. плотность, кг/м ³
Основная	29	63,3	8-16	2120
Шлейфовая	210	72,8	1-2	1970

Как это видно из приведенных данных, параметры искусственного селевого потока соответствуют параметрам среднего селя природного генезиса.

Результаты повторных измерений сохранившихся микроскважин подтвердили предыдущее показания табл. 1.12.

Величина корразии скального ложа русла за время схода одного селя составила от 19 до 64 мм, в среднем 42 мм. Наименьшую величину корразии показал диабаз, который отличается более высокой механической

прочностью по сравнению с гранитом. Различия в величине корразии в микроскважинах расположенных в пределах единого гранитного блока можно объяснить разницей в высоте над тальвегом русла. Микросква-

Таблица 1.12. Корразионное воздействие селевого потока
(р. Чемолган, Заилийский Алатау, Казахстан)

№ микро-скважин	Горная порода	Уклон русла, град.	Высота над тальвегом ложа, м	Глубина микроскважины, мм		Величина корразии, мм
				До селя	После селя	
1	Гранит роговообманковый крупнозернистый	11	0,9	103,5	39,0	64,5
2	Гранит роговообманковый крупнозернистый	11	1,5	106,7	64,5	42,2
3	Диабаз	8	1,2	43,0	24,1	18,9

жина лежащая на высоте 1,5 м над тальвегом, часть времени (при спаде уровня) не подвергалась воздействию селя.

1.5. РЕЛЬЕФ И ОТЛОЖЕНИЯ СЕЛЕВОГО ГЕНЕЗИСА

Сход селей сопровождается образованием специфических форм рельефа и отложений. Рассмотрим последовательно основные формы селевого рельефа, особенности селевых отложений и возрастные категории рельефа и отложений селевого генезиса.

Формы селевого рельефа. Характерными формами селевого рельефа являются: в зоне зарождения – селевые врезы, в зоне транзита –

селевые гряды и террасы, селевые поля и полосы аккумуляции, в зоне аккумуляции – селевые конусы выноса.

Селевой врез – форма рельефа с V-образным поперечным профилем; приурочена к фронтальным уступам конечных морен, резким перегибам склона, крутым делювиальным склонам. Селевой врез служит очагом зарождения дождевых и ледниковых селей (рис. 1.5).

Селевая гряда (вал) – форма аккумуляции селевого потока, состоящая преимущественно из крупных обломков (на поверхности это валуны и глыбы – рис. 1.6).



Рис. 1.5. Селевой врез в бассейне р. Касайкомдон, Сев. Кавказ, 1986 г.

Гряда образуется вследствие давления селевой смеси на передний фронт потока, сложенный наиболее крупными обломками и отжимания части их к борту долины или боковому краю потока. В русловых селях относительная высота гряд составляет 1,5–3,0 м и более, протяженность – десятки метров. Пути схода склоновых селей часто сопровождаются двумя длинными параллельными грядами, в которых концентрируется практически весь объем селевых выносов. Селевые гряды фиксируют боковую границу потока и отличаются длительной сохранностью. Нередко селевые гряды формируются в привершинной части конуса выноса.



Рис. 1.6. Селевая гряда в верхней части зоны аккумуляции, р. Касайкомдон, Сев. Кавказ, 1986 г.

Селевая терраса – одна из форм аккумуляции селевого потока. В отличие от речных террас, представлена в виде коротких обрывков на поворотах русла и в динамической тени потока. Селевая терраса фиксирует уровень поверхности прошедшего селя.

Селевые поля аккумуляции – это скопления селевых отложений на участках расширения долин. Селевой поток, выходя из узкой части долины в расширенную, расплывается и частично откладывает обломочный материал. Таким образом, селевые поля аккумуляции являются промежуточной формой отложения селей в зоне транзита, на пути к конечной форме – конусу выноса.

Селевые полосы аккумуляции – скопления селевых отложений на пойме или дне долины вдоль русла реки, в ее нижнем и среднем течении. В одних случаях они сочленяются с конусом выноса (Карпаты), в других служат основной формой отложения селей (хр. Удокан и горы в бассейне р. Колымы). Полосы аккумуляции характерны для селевых паводков, которые слабо насыщены обломочным материалом.

Селевой конус выноса – типичная форма конечной аккумуляции селевого потока в форме сегмента пологого конуса (рис. 1.7).

Конус сложен селевыми отложениями; характерное отношение ширины к длине в среднегорьях 1:10. Средний размер конуса выноса, например, в Крыму составляет 20х200 м, в Карпатах – 30х300 м; сред-



Рис. 1.7. Селевой конус выноса, перекрывающий автодорогу; р. Касайкомдон, Сев. Кавказ, 1986

няя толщина селевых отложений 1,5 м, максимальная – 8,8 м. Часто селевой конус выноса является частью более обширного пролювиального конуса выноса. Поверхность селевого конуса выноса нередко является разновозрастной, что отражается в микрорельефе, степени развития почвы и в особенностях растительного покрова (возраст, видовой состав, степень покрытия).

Селевые отложения в генетическом отношении входят в категорию пролювия. «Пролувий – это отложения потоков с временным или ярко выраженным переменным режимом, формирующиеся при катастрофических паводках, причем как в пределах долин, так и конусов выноса» (А. В. Кожевников, 1985, с. 92). К характерным особенностям пролювиальных отложений относятся: плохая окатанность обломков или ее полное отсутствие, плохая сортированность, слабая дифференциация грубого и тонкого материала. Ведущий процесс, формирующий пролювий – прохождение селевых потоков, в разной степени насыщенных

обломочным материалом. В условиях засушливого климата, высоких градиентов тектонических движений, в районах современного вулканизма пролювиальные отложения вместе с аллювиальными формируют обширные конусы выноса, которые у подножий хребтов и на днищах межгорных котловин сливаются в подгорные шлейфы. Состав и сложение пролювиальных отложений обычно резко меняются от вершины конуса выноса к его периферии. Для вершинных частей конусов характерно преобладание галечно-валунного материала, для периферических – супесчано-суглинистого.

Выносы селевых потоков, как правило, подвержены размыву и перетложению, входя в состав пролювиальных толщ или аллювия. В первую очередь это относится к селевым потокам, слабо насыщенным обломочным материалом – водокаменным селям и селевым паводкам. Наибольшей сохранностью отличаются отложения грязекаменных селей. В условиях Центральной Азии в разрезах аллювиально-пролювиальных галечных толщ селевые фации встречаются в форме линз и пакетов толщиной 3–4 м, сложенных щебнем или валунным галечником с алевро-топелитовым заполнителем. В отличие от вмещающих галечников они характеризуются отсутствием слоистости, худшей сортированностью и большей заглиненностью (В. И. Елисеев, 1978).

Селевые отложения отличаются полидисперсностью и неоднородностью. *Гранулометрический состав* их чрезвычайно разнообразен: в одних случаях преобладают валунно-галечные фракции, в других – пылевато-глинистые. Однако в большинстве случаев они характеризуются как крупнообломочные грунты. Например, на северном склоне хр. Заилийский Алатау (Казахстан) выносы селевых потоков квалифицируются в целом как валунно-галечно-песчаные; доля валунов и глыб (> 100 мм) составляет в них от 30 до 50%. Отложения водо- и грязекаменных типов селей (высокой и низкой плотности) существенно различны по доле мелкоземистых фракций в их составе. Например, в отложениях водокаменного селя 1956 г. в бассейне р. Ай-Серез (Крым, Украина) основные группы фракций составляют: валуны и глыбы (> 100 мм) – 28%, гравий и галька

Таблица 1.13. Гранулометрический состав селевых отложений в разных типах селей (Украинские Карпаты; по М. М. Айзенбергу и Вольфшуну, 1971)

Типы селей по составу	Группы фракций, %				Алеврит, пелит < 0,1 мм
	Валуны, > 100 мм	Галька, 10-100 мм	Гравий, 1,0-10 мм	Песок, 0,1-1,0 мм	
Водокаменный	22	51	17	5	5
Грязекаменный	9	41	28	13	9
Грязевой	2	31	27	13	27

(1–100 мм) – 70%, мелкозем (< 1 мм) – 2%. В отложениях грязекаменного селя 1958 г. на р. Кишчай (Азербайджан) скелет грунта (гравий, щебень,

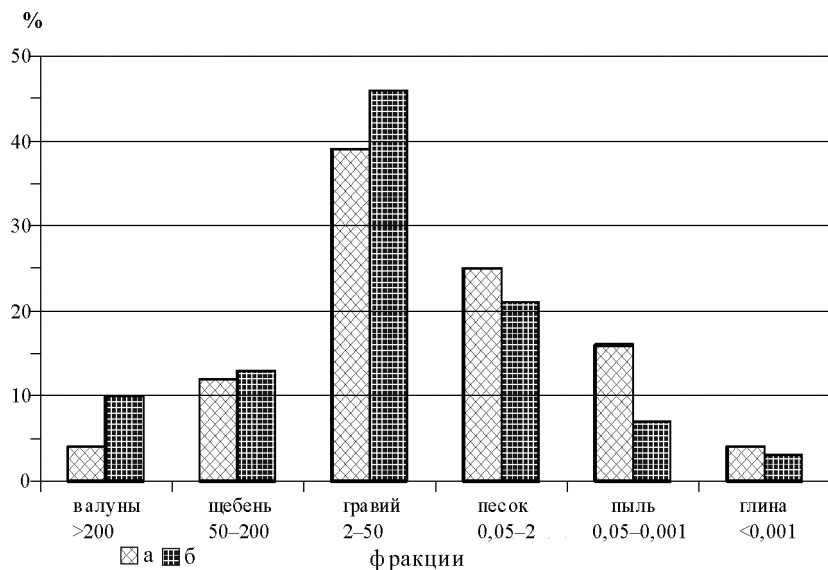


Рис. 1.8. Осредненный гранулометрический состав селеформирующих грунтов (а) и селевых отложений (б). Крымские горы, Украина (по А. С. Тищенко, 1992)

валуны) составил 60–70%, а мелкозем (< 0,25 мм) – 30–40%.

Разделение селей по вещественному составу на водокаменные, грязекаменные и грязевые естественным образом находит подтверждение в гранулометрическом составе селевых отложений (табл. 1.13).

От водокаменных селей к грязевым в составе отложений закономерно уменьшается доля валунно-галечных фракций и увеличивается доля мелкозема.

Гранулометрический состав селевых отложений определяется со-

Таблица 1. 14. Гранулометрический состав заполнителя (<2 см) пирокластических и селевых потоков Камчатки, %% (осредненные данные по районам вулканов Безымянный и Авачинский, по И. В. Мелекесцеву и др., 1970)

Группы фракций	Пирокластические потоки	Селевые потоки
Песок (2–0,1 мм)	76–82	75–86
Алеврит (0,1–0,01 мм)	11–17	10–18
Пелит (< 0,01 мм)	7	3–7,5

ставом селеформирующих грунтов каждого селевого бассейна. Эта зависимость отчетливо видна и на осредненных характеристиках гранулометрического состава селеформирующих грунтов и селевых отложений в пределах горной системы Крымских гор (рис. 1.8).

В селевых отложениях по сравнению с селеформирующими грунтами несколько возрастает процент грубых фракций и уменьшается процент мелких (< 2 мм) за счет выноса последних водным «хвостом» селя.

Аналогичная картина жесткой связи гранулометрического состава селевых отложений и участков твердого питания селей наблюдается и в областях современного вулканизма (табл. 1.14).

Твердое питание вулканогенных селей Камчатки в большинстве случаев обеспечивается материалом пирокластических потоков, в котором господствует песчаная фракция. Эта же фракция господствует и в селевых отложениях.

Селевые отложения характеризуются слабой *сортировкой*, степень которой можно оценить по коэффициенту сортировки Траска. Например, значения этого показателя в разных типах отложений на пролювиальных конусах выноса хр. Дьябло (Калифорния, США) составили: в отложениях разветвленной системы потоков – 1,5, в русловых отложениях – 2,1, в отложениях грязевых (селевых) потоков – 9,7. О преобладании низкой сортировки в селевых отложениях Карпат говорят данные по распределению селевых бассейнов по этому показателю: плохо отсортированные (> 4,5) – 75%, средне отсортированные (2,5–4,5) – 15%, хорошо отсортированные (< 2,5) – 10% (А. Н. Олиферов, 1969).

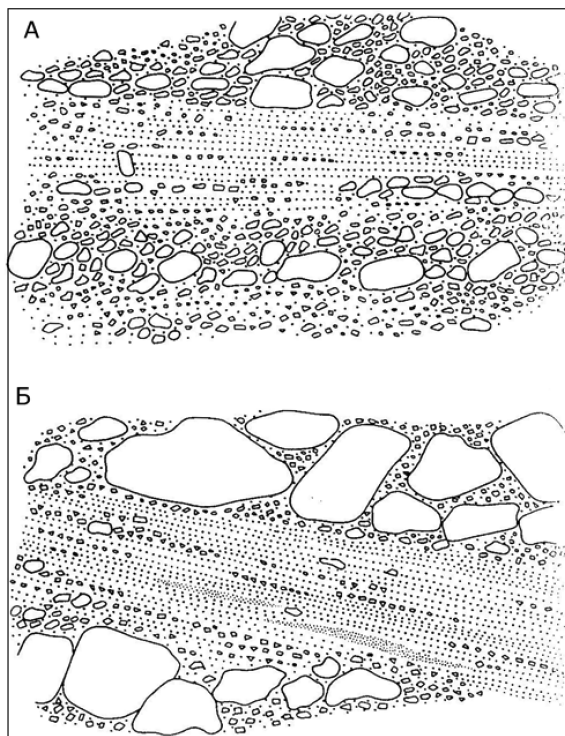


Рис. 1.9. Строение отложений двух плейстоценовых вулканических селей (лахаров), разделенных прослоем отложений селевых паводков («сухих» рек). В селевых отложениях слоистость отсутствует, содержание валунов велико; в гравелисто-песчаных отложениях селевых паводков хорошо выражена субпараллельнолинейная слоистость. Размер обнажений: 14x20 м (а) и 2x3 м (б). Хребет Тумрок, Камчатка (Т. С. Краева, 1977).

Рис. 1.10. Строение отложений селевого паводка («сухой» реки) на р. Апахончич, подножье Ключевой сопки, Камчатка. Отложения валунно-галечно-песчаные, слоистость параллельнолинейная. (И. В. Мелекесцев и др., 1970)

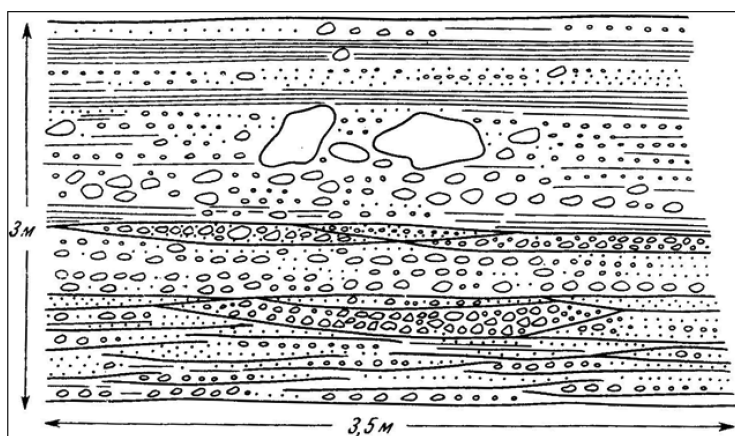


Таблица 1.15. Характер отложений вулканогенных селей (лахаров) и селевых паводков («сухих» рек) на Камчатке (по Т. С. Краевой, 1977 и др.)

Показатели	Вулканогенные сели	Селевые паводки
Тип отложений	Туфовые конгломераты и конглобрекции	Туфопесчаники и туфо-конгломераты; галечно-дресвяные; гравийно-песчаные
Грубообломочный материал	Содержание – от единиц до нескольких десятков %; иногда – концентрация наиболее крупных обломков в кровле отложений	Представлен в основном неразмержной галькой; содержание убывает вниз по течению от 30-40 до единиц %.
Максимальный размер обломков, м	3–5	2
Текстура	Массивная или грубослоистая, субгоризонтальная, не выдержанная	Слоистая дробная субпараллельнолинзовая. Длина линз – от долей метра до первых метров, толщина – не более 0,1-0,2 м

Текстура селевых отложений различается по основным типам селевых потоков. Для грязекаменных селей, включая связные, характерна массивная однородная текстура; крупные обломки распределены без предпочтительной ориентации длинных осей. Водокаменным селям свойственна слоистая, плохо выраженная наклонная или линзовидная текстура. Текстура селевых паводков слоистая, субпараллельнолинзовая. Особенности текстуры селевых отложений иллюстрируются результатами исследований на Камчатке (табл. 1.15, рис. 1.9 и 1.10).

Возрастные категории рельефа и отложений селевого генезиса. Рельеф и отложения селевого генезиса могут быть представлены как современными, так и древними формами. Последние отражают, как правило, иные условия селеформирования, реже – эпизодические события очень крупного масштаба. Селевой рельеф сохраняется на поверхности до нескольких тысяч лет. Более древние селевые процессы оставили сле-

Таблица 1.16. Основные возрастные категории рельефа и отложений селевого генезиса

Возрастная категория	Временной интервал	Основные диагностические признаки	Основные методы датирования	Интерпретация следов селевой деятельности
современная	Последние 100-200 лет	Свежий селевой рельеф; деформация древесной растительности	Прямые наблюдения; дендрохронологический	Современный селевой режим
историческая	От 100-200 лет до 4-5 тыс. лет	Старый селевой рельеф и отложения; ландшафтные различия	Исторические и археологические данные; лихенометрический ландшафтный	Фазы активизации селевых процессов как следствие климатических колебаний и хозяйственной деятельности
голоценовая	От 4-5 до 10 тыс. лет	Селевые отложения в разрезах пролювиальных конусов выноса и речных террас	Радиоуглеродный; геоморфологический; палинологический	Периоды активности селевых процессов как следствие многовековых колебаний климата и тектонических движений
древняя	Более 10 тыс. лет	Литологические особенности отложений	Весь комплекс геологических методов	Этапы возникновения контрастного рельефа и обострения процессов денудации

ды преимущественно в форме линз и пакетов селевых отложений среди аллювия, пролювия и других типов отложений. С увеличением возраста селевых отложений меняются их диагностические признаки, методы датирования, а также интерпретация следов селевых процессов. Для систематизации этих различий целесообразно разделить рельеф и отложения селевых потоков на четыре возрастных категории (табл. 1.16).

Категория современных селей (последние 100–200 лет) отражает современный селевой режим потоков климатогенного класса, категории исторических и голоценовых – этапы активизации селевых процессов вследствие колебаний климата, тектонических движений, эволюции хозяйственной деятельности. По следам более ранних

проявлений селевых процессов мы можем говорить лишь об этапах возникновения контрастного рельефа и обострения процессов денудации в ходе горообразования.

Необходимо отметить, что временные границы выделенных категорий рельефа и отложений селевого генезиса носят в определенной мере условный характер и связаны в большой степени с диагностическими признаками и методами датирования. Например, в настоящее время могут произойти события очень крупного масштаба, аналоги которых имели место сотни и тысячи лет назад. Межселевой интервал гигантских ультраселевых потоков разного генезиса лежит в диапазоне от 100–200 до 5–6 тыс. лет.

Приведем несколько примеров анализа ситуаций, связанных со следами проявления селевых процессов в геологическом прошлом.

В бассейне р. Сурхоб (Таджикистан) конусы выноса сложены пачками селевых отложений (несортированная супесчано-суглинистая порода с обломками), толщиной от 0,5 до 1,3 м (В. К. Кучай, В. А. Дьяконов, 1974). Эти пачки разделены горизонтами погребенных почв, которых насчитывается до 7. Возраст толщи, слагающей конусы выноса, от верхнеплейстоценового до позднеголоценового (от 20 до 4 тыс. лет). Селевой генезис пачек подтверждается, помимо текстуры, рваными краями кровли погребенных почв, следами волочения на контактах, включениями кусков почвы в селевые отложения. Авторы пришли к выводу, что активность селевых процессов в данном районе в течение голоцена оставались на одном уровне.

Отложения вулканогенных селевых потоков плиоценового возраста на Камчатке представлены сцементированными конгломератами и конглобрекциями (Т. С. Краевая, 1977). Толщина их достигает 80 м, что намного превышает максимальную толщину современных вулканогенных селей (20 м).

В Забайкалье известны отложения сотниковской свиты мелового возраста мощностью до 260 м (Нагорья Прибайкалья..., 1974). Они квалифицируются как парагенез отложений предгорий, главным образом, пролювиальных и речных, с широким участием гравитационных и селевых. Гравитационные и селевые отложения представлены паке-

тами брекчий и конгломератов. Формирование толщи фиксирует этап существования тектоно-орографического уступа у подножий хребтов Хамар-Дабан и Улан-Бургасы, когда процессы денудации, включая селевые, были максимально обострены.

Отложения грязекаменных селей нередко имеют мореноподобный облик, что создает проблему правильной оценки их генезиса. Например, в долинах рек Терек, Гизельдон, Урух (Северный Кавказ) в строении террас среднелепистоценового возраста встречаются мореноподобные несортированные валунно-щелбнистые отложения толщиной до 7 м. Первые исследователи отнесли эти отложения к ледниковым. Позднее, при детальном изучении геологических тел этих отложений, их взаимоотношения с отложениями вмещающего аллювия выявили их переслаивание, взаимные переходы по простиранию и залеганию (Е. М. Великовская, А. В. Кожевников, 1959). Это позволило отнести отложения к селевым, связав их с периодом отступления среднелепистоценового оледенения, т. е., с периодом обилия талых вод и активизации селевых процессов.

Аналогичная ситуация имела место на участке равнины между подножьем Хамар-Дабана и берегом Байкала (Л. И. Ивановский, 1980). В разрезах верхнелепистоценовых террас встречаются карманы валунно-галечных суглинков, а на поверхности террас – рельеф селевых гряд. Вместе с отсутствием следов существования мертвых льдов это позволило идентифицировать отложения как селевые (ранее они трактовались в качестве ледниковых). Условия селеформирования в период существования верхнелепистоценового оледенения были более благоприятны по сравнению с современными, в частности, за счет участия в процессе вместе с дождевыми селями ледникового генезиса.

1.6. РЕЖИМ СЕЛЕЙ

Понятие о селевом режиме недостаточно используется в селеведении, главным образом, из-за ограниченности данных о случаях схода селей. Между тем без характеристики селевого режима затруднительно решение таких задач, как организация службы предупреждения, оценка

степени селевой активности, районирование селеопасных территорий. Режим селей – характеристика селевого процесса во времени. Основными показателями его служат селеопасный период, повторяемость селей. К характеристикам режима селей следует отнести также данные об объеме селевых выносов и продолжительности схода селей, представления о массовом сходе селей, естественном и измененном режиме.

Показатели селевого режима характеризуют современный этап развития селевых процессов, охватывающий последние 100–200 лет. Следы более древних селей фиксируют крупнейшие события прошлого. Их следует соотносить преимущественно с этапами колебаний климата или тектонических движений, развития ледников и вулканов, хозяйственной деятельностью человека.

Селеопасный период. До недавнего времени понятие это не было точно определено, хотя использовалось в публикациях. Например, в монографии (Селеопасные районы..., 1976) приводятся сведения о распределении селей по сезонам года или по месяцам, выделяются селеопасный и наиболее опасный периоды. А. И. Шеко (1980) предложил выделять селеопасный сезон (период) как время, в течение которого возможно проявление селей и период наиболее вероятного проявления селей. В. Ф. Перов (1989, 2004) подразделил селеопасный период на три части, количественно характеризуя их границы: 1) селеопасный период – часть календарного года в месяцах, в течение которого наблюдается (возможен) сход селей; 2) основной селеопасный период – часть селеопасного периода, на который приходится более 90% случаев схода; 3) период наибольшей селевой опасности – часть селеопасного периода, на который приходится более 50% случаев схода. Систематизация данных о датах схода селей по этим критериям на территории бывшего СССР позволила количественно оценить межрегиональные различия режима селей. Продолжительность селеопасного периода в целом определяется продолжительностью теплого времени года. На территории СНГ она закономерно уменьшается с юга на север с 12 до 3 месяцев. Продолжительность периода наибольшей опасности, напротив, почти всюду

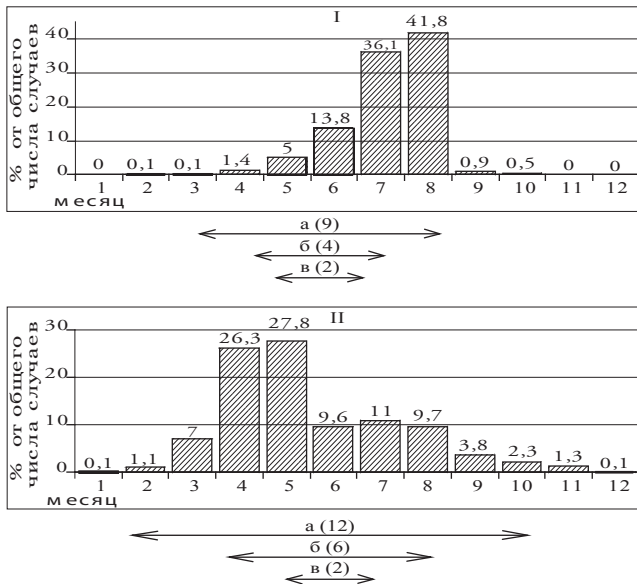


Рис. 1.11. Распределение случаев схода селей за год на Сев. Кавказе (I) и в Копетдаге (II). Периоды: а – селеопасный; б – основной селеопасный; в – наибольшей селевой опасности

остаётся постоянной, составляя 2 месяца. Календарные сроки периода наибольшей селевой опасности меняются в связи со сменой типа климата и условий общей увлажнённости (рис. 1.11).

Данные по Северному Кавказу включают 639 случаев за 1890 – 1990 гг., по Копетдагу 1299 случаев (М. А. Мамедов, Т. О. Османов, 1989). Северный Кавказ (в пределах РФ) – преимущественно высокогорье в условиях умеренного климата, несущее современное оледенение, достаточно залесенное. Здесь формируются дождевые и ледниковые сели высокой плотности. Хр. Копетдаг (в пределах Туркмении) – аридное обезлесенное среднегорье в условиях субтропического климата: формируются дождевые сели низкой плотности, преимущественно селевые паводки. Помимо различий в продолжительности селеопасного периода, календарные сроки периода наибольшей селевой опасности на Кавказе приходятся на середину лета (максимум тепла), а в Копетдаге – на весну (максимум увлажнения).

Результаты систематизации данных с использованием количественных характеристик селеопасных периодов были использованы при

разработке схемы районирования селеопасных территорий и служат теперь в качестве показателей единиц районирования – селевых областей (Экологический атлас..., 2002).

Большой проблемой остается оценка селеопасных периодов слабо изученных территорий, где сведения о датах схода единичны. Систематизация данных по селеопасному периоду на территории бывшего СССР (В. Ф. Перов, 1989) послужила базой для разработки расчетного метода оценки селеопасного периода с использованием стандартной метеорологической информации (Т. Л. Сидорова, 1997). Подход этот продолжает совершенствоваться и был использован, например, при оценке режима селей Южной Америки (О. И. Бударина и др., 2000; Н. Л. Белая, 2005).

Повторяемость селей. Повторяемость – число лет, в течение которых сход селей в данном селевом бассейне происходит в среднем один раз: синоним – частота схода селей. Характеристика повторяемости служит одним из важных показателей активности селевого процесса и входит в состав кадастров селевых бассейнов. Она используется при картографировании селевых явлений и оценке степени селевой опасности и риска. Например, в легенде карты селевых явлений Армении (Атлас Армянской ССР..., 1961) выделены три категории селевых бассейнов по частоте схода: один раз в 3 года и чаще, в 3–10 лет, реже, чем в 10 лет. При подготовке карты селеопасных районов СССР данные о частоте схода были использованы в качестве дополнительного критерия при оценке степени селевой опасности; градации повторяемости выбраны следующие: один раз в 3–5 лет и чаще, в 6–15 лет, реже, чем в 15 лет (частая, средняя и редкая повторяемость).

Диапазон значений частоты схода селей очень велик – от нескольких раз в году до одного раза в 30–50 лет и реже. Основными причинами различий служат площадь селевого бассейна, состав слагающих его горных пород и генезис селей. В мелких селевых бассейнах, площадью в несколько км² селевые потоки сходят чаще, чем в крупных, с площадью в десятки км². По осредненным данным для большинства горных регионов СНГ повторяемость селей в мелких селевых бассейнах можно оценить как один раз в 2–5 лет, в крупных – один раз в 10–20 лет. Большую частоту схода в мелких бассейнах обеспечивают значительные

уклоны русла – с одной стороны и лучшие условия концентрации стока в нем – с другой. Например, вероятность охвата ливнем всей площади водосбора в них намного выше.

Значение состава горных пород в селеформировании хорошо известно. Преобладание в пределах бассейна таких пород, как флиши, глинистые сланцы, лёссы и лёссовидные суглинки, легко выветривающихся и размываемых, дающих при разрушении обильный мелкозем, обеспечивает частую повторяемость селей по сравнению с бассейнами, в строении которых преобладают скальные или карбонатные породы. Благоприятную среду для формирования селей создают также коры выветривания и рыхлые четвертичные толщи ледникового генезиса.

Для основных генетических типов селей характерны свои значения повторяемости. Самому массовому типу дождевых селей свойствен самый широкий диапазон значений частоты схода – от нескольких раз в году до одного раза в десятилетие. Средняя повторяемость ледниковых селей составляет один раз в 15–20 лет, снеговых – 1 раз в 5–10 лет. Сход вулканогенных селей разделяют десятки лет, при этом они часто не повторяют предшествующих путей схода.

При сочетании благоприятных условий частота схода селей может быть необычайно высока. Подобная ситуация сложилась в провинции Юннань, на юге Китая, в бассейне р. Сяоцзян (Yian Li, Yingrui Wang, 1986): долина реки лежит в зоне активного тектонического разлома, в составе коренных пород преобладают глинистые сланцы, на склонах отсутствует лесная растительность, количество осадков до 1200 мм с суточными

максимумами до 80–120 мм.

Повторяемость дождевых селей в долине р. Цзянцзя – одного из притоков р. Сяоцзян – составила за 19 лет наблюдений (1965–1983) от 5 до 28 в год, в среднем 12,6 случаев в год. По-видимому, это рекордные показатели повторяемости дождевых селей на Земле.

Таблица 1.17.

Категории повторяемости селевых потоков

Повторяемость	Межселевой интервал, в годах
Очень частая	1 и менее
Частая	2–5
Средняя	6–15
Редкая	16–30
Очень редкая	31–50
Эпизодическая	>50

Повышение уровня изученности позволяет детализировать шкалу градаций селевых бассейнов по частоте схода селей, увеличив количество категорий с трех до шести (табл. 1.17).

Очень частая повторяемость присуща районам, в которых сочетаются основные благоприятные факторы селеформирования, включая последствия хозяйственной деятельности. *Частая повторяемость* характерна для мелких селевых бассейнов, в частности, в сочетании с активными оползнями, а также для селевых паводков. Категорию *средней повторяемости* составляет самая многочисленная группа селевых бассейнов с разнообразными условиями формирования и разного генезиса. *Редкая повторяемость* характерна для дождевых селей в крупных бассейнах и для селей ледникового генезиса. Категорию *очень редкой повторяемости* образуют крупные селевые бассейны в условиях засушливого климата (например, в бассейне р. Зеравшан), а также вулканогенные сели. *Эпизодические* селепроявления свойственны бассейнам с мало благоприятными условиями селеформирования, которые вовлекаются в селевой процесс, например, в случае погодных аномалий, когда происходит массовый сход селей в масштабах региона. Следует отметить, что предложенная группировка селевых бассейнов по повторяемости охватывает все значения и пригодна для исследований географии селевых явлений в глобальном масштабе. В региональных исследованиях и для практических целей можно составлять и использовать региональную шкалу повторяемости.

Объем селевых выносов. Селевые выносы – обломочный материал, который оставлен селевым потоком после его схода на конусе выноса, а также в средней и нижней частях долины (в зоне транзита) и ниже конуса выноса, в русле реки более высокого порядка. Объем селевых выносов – это количество обломочного материала, измеряемое в кубических метрах, которое выносятся селевым потоком за один раз.

Диапазон значений единовременных выносов селей очень велик. Объем выноса зависит от площади селевого бассейна, состава горных пород, генетического типа селей. В табл. 1.18 представлена группировка селевых потоков по объему выноса; она составлена на базе фактических данных. Группы с №2 по №6 характеризуют собственно селевые (нормальные, ординарные) потоки, группы №1 и №7 – категорию экстраординарных селевых потоков – сверхмелких (микроселей) и сверхкрупных (гигантских).

Таблица 1.18. Группировка селевых потоков по объему селевых выносов

Группа потоков	Объем, тыс. м ³
1.Сверхмелкие (микросели)	< 0,1
2. Очень мелкие	0,1–1
3. Мелкие	1–5
4. Средние	5–50
5. Крупные	50–500
6. Очень крупные	500–10000
7. Гигантские (ультраселевые потоки)	> 10000

Среди собственно селевых потоков очень мелкие и мелкие объемы выносов характерны для склоновых селевых бассейнов и мелких долин. Средние значения объема выноса (5–50 тыс. м³)

свойственны большинству долинных селевых бассейнов. Значение верхней границы крупных селей (500 тыс. м³) фиксирует максимальные объемы выносов для среднегорий, максимальные объемы выносов в высокогорьях составляют 5–10 млн м³.

Экстрординарные селевые потоки по комплексу признаков выходят за границы «нормальных» селей. Сверхмелкие потоки (микросели), которые по насыщенности и форме движения напоминают грязекаменные потоки, формируются не в руслах, а на обнаженных склонах, а также у края снежников и ледников. Они участвуют в формировании селей с эрозионным механизмом зарождения и проявляются на участках свежих обнажений после схода селей. Объемы выносов их измеряются кубическими метрами, реже – десятками кубических метров. Объем выноса гигантских (ультраселевых) потоков измеряется десятками и сотнями миллионов кубических метров. Это редкие явления ледникового или вулканического генезиса. Масштабы этих потоков таковы, что они выходят за пределы русловых процессов, с которыми взаимодействуют обычные селевые потоки. Например, толщина потоков достигает 100 м, а ширина – 2–4 км.

Значение объема селевых выносов характеризует потенциальную мощность селей, формирующихся в данном селевом бассейне. Оно используется вместе с характеристикой повторяемости при оценке степени селевой опасности.

Продолжительность схода селей. В осредненном виде продолжительность схода селей оценивается в 1–3 часа (С. М. Флейшман, 1978). Региональные оценки дают следующие величины: Грузия – от 10 мин.

до 3 ч.; Азербайджан чаще всего 2–3 ч., иногда несколько минут или 5–6 час (Сели в СССР..., 1964). Китай, провинция Юннань – от 2 до 10 час (Yian Li, Yingrun Wang, 1986). В первой отечественной сводке по селям (И. В. Боголюбова, 1957) содержится результат статистической обработки ограниченного количества данных: доля селевых потоков

Таблица 1.19. Продолжительность схода селей по отдельным регионам

Территория	Годы селе- проявле- ний	Коли- чество случаев	Продолжительность схода, часы, минуты			Источник сведений
			min, мин.	max*, час.	сред. час	
Сев. Кавказ в пределах Рос. Федерации	1902-1962	19	15	8	2,3	Каталог..., 1969
Азербайджан	1903-1964	63	10	12	2,7	--"–
Армения	1926-1964	99	90	13	4,1	--"–
Карпаты в пред. Украины	1927-1967	52	30	5	1,4	Кадастр..., 1969
Там же: массовый сход селей в июне 1969 г.	1969	25	6	1	0,4	Условия..., 1970
Казахстан, хр. Заилийский Алатау	1921-1963	18	33	7,7	2,6	Каталог..., 1967
Казахстан, хр. Джунгарский Алатау	1958-1960	24	20	5	2,1	--"–
Киргизия, Кир- гизский хр.	1949-1964	23	40	9	2,4	--"–
Киргизия, Талас- ский Алатау	1949-1964	19	30	3	1,7	--"–
Узбекистан, б-н р. Чирчик	1953-1969	19	45	22	4,6	--"–
Таджикистан, Кураминский хр.	1954-1963	61	20	23,8	9,2	--"–
Таджикистан, Гиссарский хр.	1952-1963	25	20	22	3,1	--"–
Туркмения, хр. Копетдаг	1888-1963	160	20	23	7,6	--"–
Китай, ю-в Тибет, ледниковый б-н Гусян	1964	73	20	9,8	1,4	Wenjun W. and oth., 1985

* Случаи схода продолжительностью 24 часа и более не учитывались

продолжительностью от нескольких минут до 2 часов составляла 59%, а продолжительностью до 6 часов – 87%. М. С. Гагошидзе (1970) обращает внимание на различия в продолжительности селей в зависимости от их структурно-реологического типа: продолжительность связанных селей оценивается в 0,5–2 час, несвязанных – до 5–6 час.

Анализ сведений, представленных в кадастрах селевых бассейнов, а также результаты обследований, проведенных по свежим следам массового селепроявления (Карпаты) и в условиях стационара (Китай) расширяют представления о продолжительности схода. В табл. 1.19 приведены средние и экстремальные величины продолжительности схода по отдельным регионам или горным хребтам. Среднее значение лежит в диапазоне от 24 мин до 9 час., минимальные составляют 6–10 мин., максимальные от 1 до 24 час. (потоки большей продолжительности в данном случае не учитывались).

Наибольшими средними значениями продолжительности (7 и 9 час.) отличаются хребты Копетдаг и Кураминский, в которых господствуют селевые паводки, характеризующиеся большей продолжительностью схода по сравнению с селями высокой плотности. Наименьшие средние значения дают районы Карпат (1969) и бассейн р. Гусян с ледниковыми селями (Китай), в которых учтены кратковременные потоки. В кадастрах сведения о продолжительности селей получены путем опросов и большая часть данных о кратковременных, т. е., мелких селях прошлого, в них, очевидно, не вошла (рис 1.12).

Выявляются три главные совокупности. Первую образуют потоки продолжительностью от нескольких минут до четырех часов; они составляют 59,4% общей суммы случаев (861). Вторую совокупность образуют сели, продолжительностью от 4 до 13 часов; их доля закономерно падает с ростом продолжительности, составляя в целом 29,0%. Вместе обе группы охватывают их основную массу (88,4%) случаев..

Доля случаев продолжительностью от 13 до 96 час. составила 11,6%. В эту группу, помимо селей большой продолжительности несомненно вошли случаи, когда в качестве единого потока описан период схода нескольких селей, разделенных перерывами. Назовем его *периодом реализации селевого процесса или серией селевых потоков*. Серия селевых потоков – это период схода двух и более селей, разделенных перерывом, продолжительностью не более 1–2 суток. Продолжительность серии, как правило, существенно больше продолжительности схода еди-

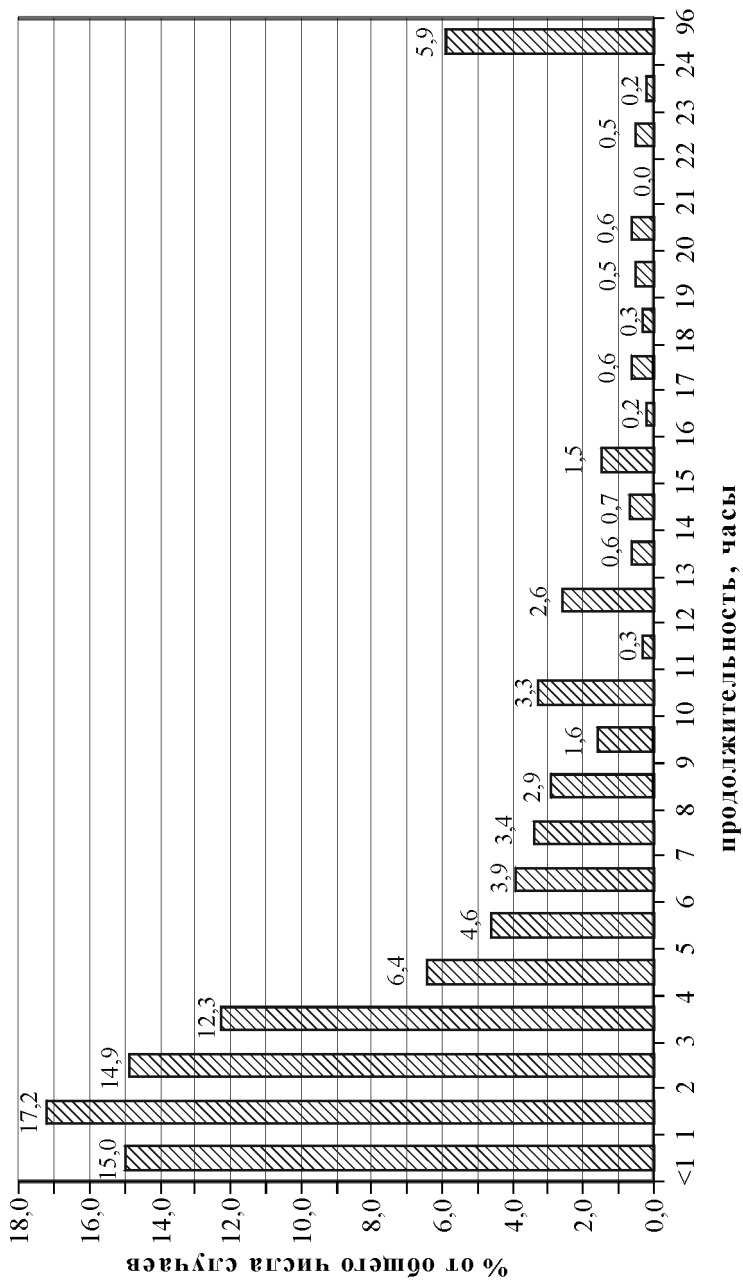


Рис. 1.12. Продолжительность селей в часах (861 случай)

ничного селя. И продолжительные сели и серии селевых потоков возникают при сочетании особо благоприятных или специфических условий. Подобные условия обеспечиваются: продолжительными дождями, особенно в бассейнах с активными оползнями, значительными дождями в период активного снеготаяния; «двухтактным» селевым процессом, когда селевой поток, сформированный в притоке основной реки, создает в последней временную плотину, прорыв которой вызывает образование второго селевого потока – уже по руслу реки более высокого порядка; развитием процесса регрессивной эрозии в селевом русле; возможностью неоднократного прорыва внутриледниковых емкостей. Нередко эти условия взаимодействуют в пределах одного селевого бассейна. Для понимания природы селевых явлений большой продолжительности и получения корректных статистических результатов целесообразно разграничивать длительные единичные сели и серии селевых потоков. Приведем с этой целью несколько примеров продолжительных селепроявлений и их интерпретацию.

1. Селевой поток 12–13 июля 1958 г. по рекам Хоздон и Садон продолжительностью около 39 часов (В. В. Агибалова, 1983; Каталог селеопасных..., 1969). Причина – интенсивные обложные дожди с суточной суммой до 124 мм (выше месячной нормы). Селевой поток по р. Хоздон сформировал временную плотину, прорыв которой вызвал селевой поток по р. Садон. Сход селя прекратился вместе с прекращением ливня. Этот случай можно интерпретировать как длительный единый селевой поток с двухтактным механизмом формирования.

2. Массовый сход селей 7–8 апреля 1959 г. регионального масштаба в передовых хребтах западной ориентации Памиро-Алая и Тянь-Шаня: продолжительность схода в отдельных бассейнах составила 24–44 часа (Каталог селеопасных..., 1967; М. П. Рыбкина, 1962). Причина: наложение интенсивных осадков на активное снеготаяние. Резкий подъем температуры воздуха сопровождался выпадением жидких осадков суммой до 60 мм. Это обеспечило обилие воды (дождь, талые воды, запас воды в снеге и грунте), сход снежных лавин, оползней, оплывин в русла водотоков, с последующим подпруживанием русел, подпором выходов грунтовых вод и прорывом временных плотин. В данном случае наиболее вероятно участие в массовом сходе селей, как длительных селевых потоков, так и селевых серий.

3. Селевой поток ледникового генезиса в бассейне р. Адырсу (Северный Кавказ) 1–3 августа 1940 г. Селевой процесс занял около 60 часов (П. В. Ковалев, 1955), фактическое время схода селей не более 48 часов, поскольку ночью процесс затухал. Сель формировался в балке Джаловчат за счет регрессивной эрозии. После перегораживания русла р. Адырсу временной плотиной (обширным конусом выноса из балки Джаловчат) и ее последующего прорыва, поток двинулся по руслу р. Адырсу. В данном случае можно говорить о серии селевых потоков, вызванных регрессивной эрозией с участием двухтактного механизма формирования.

4. Селевой поток ледникового генезиса в бассейне р. Герхожансу (Северный Кавказ) 18–25 июля 2000 г. Селевой процесс занял около 8 суток, сход пяти селевых потоков был разделен длительными перерывами (В. Д. Панов, П. М. Лурье, В. М. Заруднев, 2001). Продолжительность схода потоков – от 20 мин. до 25 час; суммарная их продолжительность составила 39 час, продолжительность перерывов – от 13 до 70 час. Основной причиной растянутости селевого процесса во времени послужило, по-видимому, развитие процесса регрессивной эрозии в русле р. Каяртысу. На протяжении 7 км русло было переуглублено в среднем на 10 м (Э. В. Запорожченко, 2002), во многих местах в нем обнажилось скальное дно древнего русла. Порогом (базисом) для начала развития регрессивной эрозии послужил участок створа селезадерживающей плотины, сформированный за счет глубинного вреза ниже плотины после ее разрушения селевым потоком 1999 г. Это селепроявление можно охарактеризовать как серию селевых потоков, вызванных развитием процесса регрессивной эрозии.

Таблица 1.20. Группы селевых потоков по продолжительности схода

Группы	Продолжительность, часы, сутки	%
Кратковременные	Менее 1 ч.	30
Средние	1–4 ч	40
Продолжительные	4–13 ч	25
Сверхпродолжительные	13–60 ч	4
Серия селевых потоков	от 1–2 до 10–20 сут.	1

5. Рекорды продолжительности селевых потоков ледникового генезиса в бассейне р. Гусян (Тибет, Китай) в сезон 1964 г., когда было зафиксировано 85 случаев схода: максимальная продолжительность селя – 57 час. 40 мин.;

максимальная продолжительность периода ежедневного схода селей – 7 суток, в течение которых сошло 14 селей; максимальный период схода селей с перерывами не более суток составил 23 суток. (Wenjun W. and oth., 1985).

Результаты систематизации и анализа данных позволяют выделить характерные группы селевых потоков по их продолжительности и оценить их процентное соотношение (табл. 1.20).

Массовый сход селей. Для уточнения понятия «массовый сход селей» необходимо отделить его от близкого по значению понятия «повышенная селевая активность». В качестве критериев используем два показателя: процент селевых бассейнов, в который прошли сели от их общего количества в пределах некоторой территории; размер площади, охваченный одновременным сходом селей.

Существуют колебания селевой активности на ограниченной территории, которые происходят постоянно и повсеместно, и события регионального масштаба, более редкие. Первые отнесем к годам повышенной селевой активности, вторые – к годам массового схода селей. Проявления повышенной селевой активности охватывают одну или несколько горных долин. Их можно рассматривать как массовый сход селей на местном уровне. Осредненное значение повторяемости годов повышенной селевой активности для территории северо-восточной Евразии составляет 10–20 лет. Оно соответствует частоте схода селей в крупных селевых бассейнах региона. Массовый сход селей отличается большим территориальным охватом. Обычно это макросклон большого хребта или ряд горных хребтов. Количество селевых бассейнов, в которых проходят сели, составляет, не менее 20% общего количества. Повторяемость событий – по ограниченному данным из-за коротких рядов наблюдений – каждые 40–80 лет. Массовый сход селей характерен лишь для дождевых селей и водоснежных потоков. Основной причиной в случае дождевых селей служат выдающиеся по продолжительности и интенсивности жидкие осадки, достигающие 300–600 мм за сутки или за дождь. Большой территориальный охват предопределяется синоптическими условиями, обеспечивающими, например, крупномасштабное столкновение теплых и холодных воздушных масс над горами. Примерами массового схода могут служить: июнь 1914 г. и август 1953 г. на Центральном Кавказе; ав-

густ 1927 г. и июнь 1969 г. в Украинских Карпатах; 1882 г. и 1965–1966 гг. в Австрийских Альпах; апрель 1959 г. на западных окраинах хребтов Памиро-Алая и Тянь-Шаня. Массовый сход водоснежных потоков отмечен в мае 1977 г. в Хибинском горном массиве и в июне 1980 г. – в хребтах нагорья Черского и Чукотки (В. Ф. Перов, 1989).

Годы массового схода селей, как и годы повышенной селевой активности, как правило, сопровождаются сходом крупных селей или селей катастрофического характера.

Естественный и измененный режим селей. Под естественным понимается режим селевых потоков, соответствующий условиям окружающей среды, слабо затронутой хозяйственной деятельностью. Значительные воздействия на среду качественно меняют условия селеформирования. Это ведет к изменению характера распространения селей, уровню активности селевого процесса, режима селей. В таком случае можно говорить об измененном селевом режиме. Рассмотрим варианты развития селевого процесса с измененным селевым режимом.

Формирование техногенных селей на отвалах. Такие потоки, как правило, отличаются повышенной повторяемостью. Например, на р. М. Мукулан (Кабардино-Балкария) техногенные сели образуются ежегодно, иногда – до 10–20 раз в году, в то время как средняя повторяемость дождевых селей в соседних селевых бассейнах составляет один раз в 10 лет. В Китае выявлено 28 рудников, в отвалах которых формируются селевые потоки (Жонг Дунфун и др., 1989). В половине из них селевые потоки случались многократно. Масштабы селей разнообразны; максимальные значения селевых выносов составили 100–200 тыс. м³.; протяженность селевого русла, заваленного селевыми отложениями – до 7 км. Несмотря на преобладание мелких по площади селевых водосборов, максимальные объемы селевых выносов относятся к категории крупных. В целом техногенные сели, формирующиеся на отвалах, отличаются локальным распространением, повышенной повторяемостью и разнообразной величиной селевых выносов. Такие селевые потоки являются новообразованиями с измененным селевым режимом.

Строительство защитных сооружений, мелиорация селевых бассейнов, регулирование природопользования – все это снижает актив-

ность селевых процессов, изменяя селевой режим. Например, создание водохранилища в верховьях р. Гедар (Армения) позволило снизить пик паводка и предотвратить возникновение катастрофических дождевых селей. Превентивный спуск прорывоопасных приледниковых озер в Залийском Алатау (Казахстан) снижает риск образования крупных селей ледникового генезиса, изменяя естественный селевой режим. В Украинских Карпатах регулирование рубок леса во второй половине XX в. привело к ослаблению интенсивности селевого процесса. Аналогичный эффект имело террасирование склонов в сочетании с лесопосадками в горном Крыму. Таким образом, в целом реализация мер защиты от селей, снижая уровень селевой активности, изменяет режим селей. Эти изменения проявляются в снижении повторяемости и объемов селевых выносов. Последнее означает исключение возможности возникновения крупных селей катастрофического характера.

Активное освоение горных территорий в XVIII–XX вв., сопровождавшееся сведением лесов и перевыпасом, неизбежно привело к усилению эрозии и селевых процессов. Например, в Великобритании, самой малолесной стране Европы, возраст селевых явлений ограничен 250 годами, т. е., мелкие, преимущественно склонового типа селевые бассейны, возникли в низкогорьях страны в ходе промышленной революции. Подобная ситуация имеет место в большинстве горных стран мира. В низкогорьях селевые явления возникли в качестве новообразований; в среднегорьях и высокогорьях – и в качестве новообразований и в форме усиления селевого процесса в ранее существовавших селевых бассейнах.

Селевые потоки, формирующиеся в условиях деградированного ландшафта, относятся к природно-антропогенным. Они характеризуются преобладанием потоков низкой плотности (водокаменных и селевых паводков) и повышенной повторяемостью. Изменения режима селей реализовались в двух вариантах: активизации селевого процесса в ранее существовавших селевых бассейнах, формировании селевого режима во вновь образованных селевых бассейнах.

Наследие древних цивилизаций. Развитие древних цивилизаций с середины голоцена по I тысячелетие до н. э. реализовалось через развитие земледелия, пастбищного скотоводства, горнодобывающую деятельность, уничтожение лесов. Последствия проявились в изменении гидрологического режима рек и в усилении денудации. Это подтверждается,

например, исчезновением арчевых лесов в Копетдаге или формированием речной террасы исторического времени повышенной мощности (с древнеримской керамикой) у подножий Аппенин (Л. Г. Бондырев, 1987). Усиление денудации сопровождалось и усилением селевых процессов. Сформировавшиеся за историческое время вторично-производные ландшафты (главным образом, кустарниковые и редколесные сообщества) являются в современных условиях достаточно устойчивыми. Режим селей таких областей можно квалифицировать как измененный унаследованный. Селевые потоки в них в большинстве случаев характеризуются низкой плотностью и повышенной повторяемостью.

1.7. КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Знакомство с основными особенностями селевых потоков позволяет перейти к рассмотрению вопросов их классификации и типологии. Важными для наших целей являются генетическая классификация селевых явлений и общая типология селевых и селеподобных потоков.

Генетическая классификация селевых явлений. Среди общих классификаций селевых явлений, связанных с их генезисом отметим разработки Е. П. Коновалова, А. И. Шеко, Р. Д. Курдина.

Е. П. Коновалов (1938), предлагая предварительную генетическую классификацию селей, исходит из признания роли воды в качестве единственного активного фактора селеформирования. Он выделяет следующие генетические типы селей.

1. Сели, образующиеся в результате быстрого стока ливневых вод, или просто ливневые сели.
2. Сели, образующиеся в результате быстрого таяния снега и ледников.
3. Сели, образующиеся вследствие прорыва водоемов: а) ледниковых озер; б) неледниковых озер; в) искусственных водохранилищ.
4. Сели сложного происхождения, образующиеся в результате совместного действия дождей, стаявшего снега.

К недостаткам этой разработки, помимо неполноты, относится невыдержанность единого критерия выделения типов селей: если в типах 1 и 2 это действительно генезис, то в типе 3 речь идет о механизме зарождения селей (прорывном): один и тот же генетический тип селей – ледниковый – оказывается в двух выделенных типах.

А. И. Шеко разработана общая генетическая классификация очагов зарождения селей (Методическое руководство..., 1971), которая, по замыслу автора, «отражает наиболее общие особенности формирования селей» (А. И. Шеко, 1980, с. 12). Интересен самый крупный таксономический ранг классификации, который представлен группами очагов. Автор выделяет четыре группы очагов, связанных: 1) со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков; 2) с подпруживанием рек; 3) с деятельностью современных ледников; 4) с деятельностью вулканов.

Здесь та же невыдержанность единого генетического подхода: если типы 3 и 4 прямо указывают на генезис, то типы 1 и 2 раскрывают механизм зарождения и формирования селей, свойственных разным генетическим типам.

Р. Д. Курдиным (1973) предложена схема универсальной классификации селевых потоков. В основу их подразделения легли четыре группы признаков: характер селеобразования, структурно-реологическая модель селевого потока, состав селевой смеси, мощность и разрушительная сила селевого потока. Три последние группы характеризуют собственно селевой поток, первая – характер селеобразования – имеет отношение к селевому явлению в целом и требует рассмотрения. Под характером селеобразования автор понимает комбинацию типов водного и твердого питания селевых потоков (генезис непосредственного возникновения селя). Соответственно типы селей выделяются отдельно внутри двух условных группировок, которые объединены характером питания селей – жидким и твердым. По водному питанию сели подразделяются на: 1) дождевые, 2) снеговые, 3) гляциальные, 4) прорывные. По характеру питания твердым материалом выделены типы селей: 1) склоновые, 2) обвально-оползневые, 3) русловые, 4) моренные. Расчленение единого природного феномена на группы по типам питания и отдельная (параллельная) типизация внутри этих групп – мало подходящая основа для генетической классификации природных явлений. Подобное расчленение уместно и практикуется при анализе селевого процесса, т. е., условий и процесса селеформирования. При составлении генетической классификации селей гораздо важнее учитывать то обстоятельство, что характер жидкого и

Таблица 1. 21. Общая генетическая классификация селевых явлений

Классы	Главный фактор формирования	Основные особенности распространения и режима	Тип	Основные причины и механизмы зарождения
I. Сели зонального проявления	Климатический (изменчивость гидрометеорологических элементов)	Распространение повсеместное и носит зональный характер; сход селей систематический; пути схода относительно постоянны	Дождевой	Ливневые затяжные дожди, вызывающие размыв склонов и русел; оползни
			Снеговой	Интенсивное снеготаяние, вызывающее сдвиг переувлажненных снежных масс; прорыв снежных плотин
			Ледниковый	Интенсивное таяние снега и льда, вызывающее прорыв скоплений талых ледниковых вод; обрушение морен и льда
II. Сели регионального проявления	Геологический (активные эндогенные процессы)	Распространение ограничено областями наибольшей тектонической активности; сход селей эпизодический; пути схода не постоянны	Вулканогенный	Извержения вулканов, особенно взрывного типа, сопровождающиеся спуском кратерных озер, бурным таянием снега и льда
			Сейсмогенный	Землетрясения силой 7-8 баллов и выше, вызывающие срыв грунтовых масс со склонов
			Лимногенный	Разрушение естественных озерных плотин, сопровождающееся разрывом русла прорывной волной
III. Сели антропогенные	Хозяйственная деятельность (нарушение устойчивости горных ландшафтов)	Распространены в областях наибольшей хозяйственной нагрузки на ландшафт; частота схода повышена по сравнению с естественным фоном, реже носит эпизодический характер; характерно возникновение новых селевых бассейнов.	Антропогенный	Складирование отвалов горных выработок на крутых склонах и их последующий размыв; сооружение некачественных земляных плотин и их разрушение и др.
			Природно-антропогенный	Истребление лесной и деградация лугово-степной растительности и почв, стимулирующие эрозионные и селевые процессы

твердого питания селей тесно взаимосвязаны. Второе замечание: в группе селей по водному питанию включены как собственно генетические типы, так и тип по механизму возникновения (прорывные).

Предлагаемая генетическая классификация селевых явлений (В. Ф. Перов, 1996) представлена в табл. 1.21.

Все виды селевых явлений по их генезису сгруппированы в три класса и восемь типов. Классы образуют селевые потоки с общим главным фактором их развития. Такими главными факторами служат: изменчивость гидрометеорологических элементов – в классе I, активные эндогенные процессы – в классе II и последствия хозяйственной деятельности – в классе III. Выделенные группировки образуют, соответственно классы селей зонального проявления, регионального проявления и антропогенных селей. В названиях первых двух классов отражены коренные отличия в характере их распространения. Типы селей класса I распространены повсеместно, а смена типов происходит закономерно, в соответствии с широтной и высотной зональностью. Селевые явления класса II строго ограничены в распространении районами современного вулканизма и высокой сейсмичности. Коренные различия этих двух классов, помимо закономерностей распространения, отражены в основных



Рис. 1.13. Общий вид зон транзита и аккумуляции водоснежного потока; долина р. Тулийок, Хибины, 1959 г.

особенностях режима и путей схода селевых потоков. Сели класса I сходят систематически, а пути схода их (селевые русла) относительно постоянны; сели класса II формируются эпизодически, а пути схода их, как правило, непостоянны, изменчивы. Антропогенные селевые потоки (класс III) «сопровождают» районы промышленного и сельскохозяйственного освоения гор; режим их обычно разнороден и неустойчив. Направленность мер защиты в каждом классе селевых явлений, в соответствии с коренными различиями их распределения и режима, также существенно различна. Отметим основные особенности выделенных генетических типов селей, начиная с класса зонального проявления

1. *Дождевые сели* – следствие ливней и затяжных дождей; это самый массовый тип селей, формирующийся практически во всех типах климата. Селеформирующие осадки составляют от 15–20 мм в засушливых районах до 100–200 мм – во влажных. Выдающиеся по продолжительности и интенсивности жидкие осадки, достигающие 300–600 мм за сутки или за дождь, вызывают массовый сход селей на значительных территориях.

2. *Снеговые сели.* Образование их связано с процессами нако-

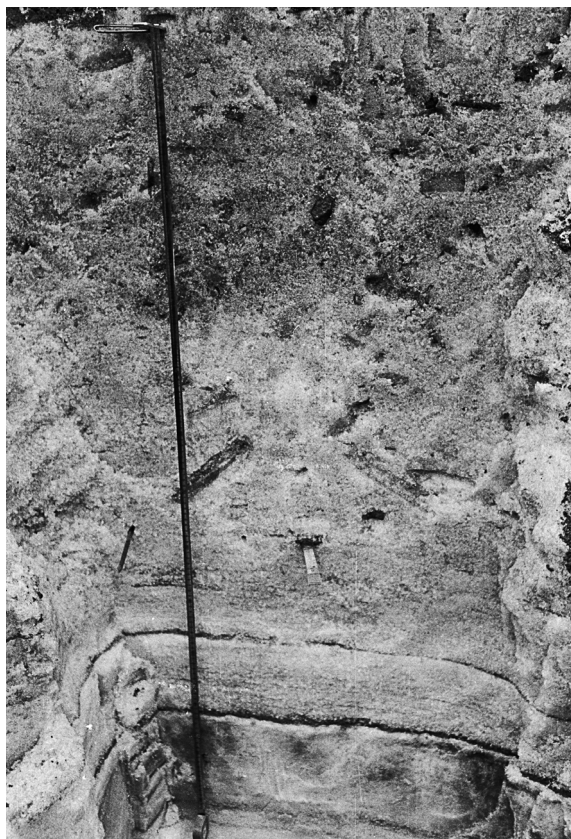


Рис. 1.14. Строение отложений водоснежного потока: бесструктурная масса снега, насыщенного мелкоземом и щебнем; у подошвы разреза – слои руслового снежника. Бассейн р. Вуоннемйоок, Хибины, 1977 г.

пления и таяния снежного покрова и снежников. Выделяется два вида (подтипа) снеговых селей – водоснежные потоки (рис. 1.13) и снежниковые сели.

Селевая масса *водоснежных потоков* представлена смесью комков и зерен снега с водой, с участием обломочного материала (до 5–10% объема). После остановки потока в зоне аккумуляции остается толща бесструктурной массы снега с включениями мелкозема и щебня (рис. 1.14).

После таяния снега отложения представлены маломощным (до 0,5 м) плащом разнообломочного материала крупнопористой текстуры (рис. 1.15).

Потоки формируются в период снеготаяния, при оттепелях с резким подъемом температуры воздуха; реже вызываются дождем. Зарождение водоснежных потоков связано с отрывом снежного пласта или с разрушением снежного покрова в руслах и денудационных врезках. Распространены широко в горных районах Субарктики, реже – на поверхности ледников полярных и умеренных широт, в горах умеренного пояса. Водоснежные потоки формируются в мелких долинах площадью 3–6 км². Характерные объемы единовременных выносов составляют 20–40 тыс. м³, достигая иногда 200–500 тыс. м³. Повторяемость водоснежных потоков в районах с морским типом климата составляет один раз в 10 лет, в районах с резко континентальным климатом – один раз в 5 лет.

Снежниковые сели формируются в течение всего теплого периода. В начале лета они образуются вследствие прорыва временных запруд, сложенных русловыми и лавинными снежниками в сужениях долин. Обычно формируются водокаменные потоки или селевые паводки. Другая разновидность снежниковых селей образуется в разгар лета, при ясной солнечной погоде. Очагами их зарождения служат снежники, залегающие в уступах продольного профиля крутых русел. Здесь происходит накопление и «созревание» (преимущественно за счет лавинного сноса и выветривания) рыхлообломочной массы, которая при переувлажнении способна к самоистечению; формируются грязекаменные потоки. Данный вариант снежниковых селей сравнительно редок и характерен для высокогорий умеренной зоны.



Рис. 1.15. Плащ разнообломочного материала крупнопористой текстуры, остающийся в зоне аккумуляции водоснежных потоков после выгаивания из снежной толщи; бассейн р. Тымшесуай, Хибины, 1959 г.

3. К *ледниковым* относятся сели, формирование которых связано с развитием ледниково-моренных комплексов современных ледников, а жидкая составляющая образуется преимущественно за счет талых ледниковых вод. Ледниковые сели часто называют *гляциальными*, что не совсем корректно. Поскольку гляциология исследует весь комплекс снежно-ледяных образований, мы должны включить в категорию гляциальных и снеговые сели. Это означало бы уход от большей определенности к меньшей, в связи с чем здесь и далее используется определение «ледниковый». Зона распространения ледниковых селей окаймляет области современного горного оледенения. Наибольшая активность ледниковых селей характерна для этапа деградации горных ледников, особенно для его начальных стадий. Селеопасный период приходится на июль–август – период максимальных уровней абляции и стока с ледниковых бассейнов в Северном полушарии. Непосредственной причиной образования ледниковых селей служит в одних случаях прорыв ледниково-подпрудных и моренных озер или внутрiledниковых емкостей, а в других – оползание переувлажненных масс моренных от-

ложений или срыв фирноволедяных частей ледников. Формирование собственно селевого потока в первом случае происходит в русле реки путем размыва волной паводка рыхлых отложений, во втором – путем разрушения структуры грунтовых масс или дробления льда, содержащих трещинные и поровые воды. По составу селевой массы ледниковые сели чаще бывают водокаменными, реже – грязекаменными и в редких случаях – водоледяными. Ледниковые сели – наиболее мощные сели высокогорий; объем единовременных выносов их составляет от сотен тысяч до 3–6 млн м³. Повторяемость ледниковых селей составляет в среднем один раз в 15–20 лет; для режима их характерно чередование периодов покоя продолжительностью 20–40 лет с периодами частого (почти ежегодного) проявления продолжительностью 5–10 лет.

Развитие селевых явлений регионального проявления, что следует из их названия, строго локализовано в пространстве. Они свойственны областям активной тектонической жизни земной коры новейшего (неоген-четвертичного) этапа. В целом, сели этого класса редки и по проявлению и по повторяемости. Области распространения селей регионального проявления как бы наложены на общий фон, занятый селями зонального проявления, которые развиты практически повсеместно в горах. Класс селей регионального проявления образуют три типа селей – вулканогенный, сейсмогенный, лимногенный.

4. К *вулканогенным* относятся селевые потоки, причиной образования которых служат извержения вулканов, преимущественно взрывного типа. Близкое значение имеет и термин *лахар* – местное название (Индонезия) селевых потоков, формирующихся на склонах действующих вулканов. Различают «горячие» и «холодные» лахары; первые связаны с извержением вулканов (являются собственно вулканогенными), вторые вызываются дождями, (являются дождевыми по генезису). Корректнее пользоваться термином «вулканогенный», как более определенном в генетическом отношении.

Основными механизмами образования вулканогенных селей служат: выплескивание и прорыв кратерных озер, быстрое таяние снега и льда под воздействием пирокластических потоков и лавы обрушение части вулканической постройки, дожди во время извержения.

На поверхности суши зарегистрировано более 800 действующих вулканов; в 131 из них (около 15%) извержения сопровождались сходом грязевых потоков. Вулканогенные сели – самые мощные среди всех типов селей. Длина пути их достигает 300 км, объем перемещенных обломочных масс – 500 млн м³, толщина отложений – до 20 м. Сели этого типа – один из главных источников опасности при извержениях вулканов.

5. *Сейсмогенные* селевые потоки возникают при землетрясениях силой 7–8 баллов и выше. Главной причиной образования селей при сильных землетрясениях служат многочисленные обрушения скальных горных пород, рыхлых грунтов, фирново-ледяных масс, которыми они сопровождаются. К характерным видам механизма зарождения сейсмогенных селей можно отнести: а) трансформацию обвалов, оползней, сползающих грунтовых масс в селевой поток, чаще всего путем обводнения этих масс в русле водотока; б) переход обрушения фирново-ледяных масс в водоледяной и грязекаменный поток; в) образование, за счет крупных обвалов и оползней, временных подпрудных озер и их последующий прорыв.

Сейсмогенные сели – сравнительно редкий тип селевых потоков, свойственный областям с высокой сейсмической активностью. В большинстве случаев параметры их невелики, однако возможны и выдающиеся события с катастрофическими последствиями. Размер сейсмогенных селевых потоков зависит, помимо силы подземных толчков от относительной высоты гор и состояния грунтовых масс на склонах в момент землетрясения (талое–мерзлое, влажное–сухое). Приведем примеры формирования сейсмогенных селей в различных природных условиях.

а). Землетрясение с эпицентром близ г. Чимботе (Перу) 31.05.1970, 10 балл. На площади 65 тыс. км² образовались (главным образом, в пределах хр. Кордильера-Бланка) многочисленные обвалы, оползни и временные озера. Один из таких обвалов произошел близ вершины г. Уаскаран – высшей точки хребта (6768 м). От северного пика горы оторвался гигантский блок горных пород и льда объемом в несколько миллионов кубических метров. Сформировавшаяся скально-ледяная лавина ринулась по крутому склону горы, захватывая по пути новые порции льда, морены, других горных пород, стремительно возрастая в

объеме. Расстояние в 10 км – от вершины г. Уаскаран до р. Санта, текущей вдоль подножья хребта, лавина проделала за несколько минут. Скорость движения достигала 280–360 км/ч. К подножью горы было вынесено около 50 млн м³ раздробленных горных пород, льда, морены и других рыхлых отложений. Толщина их составила от 5 до 20 м. Лавиной уничтожен г. Юнгай и другие населенные пункты, лежащие у подножья горы; погибли 23 тыс. человек.

По достижении лавиной р. Санта она трансформировалась в грандиозный грязекаменный селевой поток, который прошел до Тихого океана (150 км). Продолжительность схода составила от 2 до 4 часов, скорость 36 км/ч. Высота фронта потока, как и высота подъема уровня реки на всем протяжении составила 20 м. Грязекаменный поток содержал большое количество блоков льда. Волнами селея были затоплены аэропорт, шоссе, сельскохозяйственные угодья, разрушены шоссе и железнодорожные мосты, отводная плотина гидроэлектростанции.

б). Оймяконское землетрясение, п. Усть-Нера, руч. Кобди, Якутия, 19.05.1971, 9 баллов. Это область сплошной многолетней мерзлоты в среднегорье. Толщина протаявшего деятельного слоя составила к этому времени в среднем 0,3 м. Землетрясение вызвало срывы переувлажненных грунтовых масс в пределах контура 3х6 км; суммарный объем смещенных масс составил около 100 тыс. м³. Срывы грунтовых масс, достигая крутонаклонных русел левых притоков руч. Кобди трансформировались в селевые грязекаменные потоки глубиной до 5–6 м. На широком дне долины руч. Кобди эти потоки сформировали конусы выноса, почти полностью перегораживая русло ручья.

б. Возникновение *лимногенных* селей связано с размывом естественных озерных плотин и спуском части или всего объема озерной воды. Они формируются, главным образом, в озерах завального (плотинного) типа; такие озера образуются в результате подпруживания реки обвалами, оползнями, конусами выноса боковых притоков, древними моренами. Подобные озера существуют сотни – первые тысячи лет и прорыв их подготавливается длительными процессами эволюции озерной плотины, включая суффозию и эрозию. Озера завального типа распространены преимущественно в молодых горах, сформиро-

ванных в неотектонический этап развития рельефа, для которого характерны значительная величина тектонических поднятий и высокая сейсмичность. Например, завальные озера и следы их существования в голоцене и плейстоцене широко распространены в высокогорьях Тянь-Шаня и Памиро-Алая (В. П. Пушкаренко, А. М. Никитин, 1984). Они лежат в интервале высот 1500–4000 м. Основным источником материала завальных плотин служит тектонически раздробленные породы: расположение озер тяготеет к зонам разломов.

Приведём пример формирования лимногенного селя в долине р. Тергермач 18.06.1966 г. вследствие прорыва оз. Яшинкуль. Озеро и долина расположены на северном склоне хр. Кичик-Алай, обрамляющего Ферганскую долину с юго-востока. Параметры озера до прорыва: площадь – 0,18 км², глубина более 100 м, объем 9 млн м³ воды. Завальная плотина озера высотой 150 м и объемом около 20 млн м³ образована обвалом вследствие землетрясения более 130 лет назад от времени прорыва. В теле плотины непрерывно развивались процессы суффозии, о чем свидетельствуют родники и активный рост оврага в нижнем бьефе. Суффозия способствовала разуплотнению грунтовой массы плотины. Перед прорывом уровень воды в озере был лишь на 1,5 м ниже гребня. В первой половине июня вследствие активного снеготаяния и ливней начался резкий подъем уровня. 18 июня около 15 час. началось обрушение крутых стенок оврага, а в 16–17 час. – перелив через гребень плотины. Начало размыва плотины сопровождалось выдавливанием участка шириной 25 м, что многократно ускорило скорость размыва. Масса воды озера объемом 6,5 млн м³ размывла около 3 млн м³ грунта плотины и обрушилась в долину. Ниже плотины сформировались два паводковых вала высотой до 10 м, которые в 1,5 км от места прорыва трансформировались в водокаменный селевой поток глубиной 10–12 м. Средняя скорость селя составила 6 м/с, максимальный подъем уровня в сужениях долины – 15–18 м. Селевой поток разгрузился при выходе в долину р. Исфайрамсай, перегородив ее конусом выноса. Временное озеро прорвалось, и вновь образованный селевой поток прошел по всей долине р. Исфайрамсай; в устье его прохождение зафиксировано около 20 час. Средняя глубина потока составила 5–6 м, ширина – от 65 до 130 м, скорость – от 3,4 до 5 м/с.

7. *К антропогенным (техногенным)* селям относятся селевые потоки, образование которых прямо связано с последствиями хозяйственной деятельности. Причинами образования их чаще всего служат оползание и размыв отвалов горных пород, прорыв водо- и хвостохранилищ и др. Как правило, антропогенные сели образуются в местах, где ранее селевой процесс не развивался. Приведем несколько примеров.

Район вольфрамо-молибденового рудника в г. Тырнауз, Кабардино-Балкария. В зоне освоения оказались две небольшие крутонаклонные долины – Б. и М. Мукулан, площадью 5,2 и 2,0 км² и средним уклоном водотока 275 и 400‰. До складирования отвалов селевые потоки сходили изредка лишь по руслу Б. Мукулана. В течение 1968–1994 гг. в долины было сброшено порядка 300 млн м³ горной породы – материала вскрыши рудника. Отвалы сложены глыбово-щебнистым материалом с супесчаным заполнителем. Они занимают днища и борта долин; превышение над дном долины составляет 400–500 м, угол наклона поверхности – 35°. Начиная с 1970 г. в обеих долинах начали сходить техногенные сели, зарождающиеся в теле отвалов в результате оплывания и размыва грунтов во время ливней. В М. Мукулане селевые потоки формируются ежегодно, от 1 до 10 раз за сезон, в Б. Мукулане – в среднем каждые три года, от 1 до 4 случаев за сезон. Это необычайно высокая повторяемость для Центрального Кавказа, где среднее ее значение для дождевых селей составляет один раз в 10 лет. Сход и параметры техногенных селей прямо связаны с величиной и интенсивностью дождей. Единовременный объем выносов обломочных масс составлял в среднем около 10 тыс. м³, возрастая в отдельных случаях до 150 тыс. м³. Дождевые техногенные сели систематически заносили автомобильную дорогу, которую пришлось перенести на правый берег р. Баксан; они создают также угрозу подпруживания реки.

В Китае насчитывается 28 участков с развитием техногенных селей «рудничного происхождения» (Жонг Дунлун и др., 1989). Причиной зарождения селей служат последствия деятельности горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий по добыче железа, меди, угля и др. Непосредственными причинами формирования очагов зарождения служат: заполнение крутых оврагов обломочным мате-

риалом вскрышных работ (это основная причина), взрывные работы, строительство автомобильных дорог, сопровождающееся выбросом обломочных масс на крутые склоны, прорыв хвостохранилищ, создание холмов из пород вскрыши, гидравлические вскрышные работы и др. Селевые потоки образуются в период обильных дождей. Объем выноса техногенных селей достигает 100–200 тыс. м³, длина пути – от 0,5 до 7–12 км. Из 28 участков, где формируются техногенные сели, в 14 они сходили многократно, в другой половине – иногда. Сход техногенных селей нередко носил катастрофический характер.

Особый случай – по масштабу, месту и времени – представляют события в песках Жаманкум под Алма-Атой (А. Х. Хайдаров, Е. П. Шевырталов, 1989). Озеро – накопитель сточных вод было создано в естественном понижении, среди песков аккумулятивной наклонной равнины. Объем его к январю 1988 г. составил 36 млн м³. Из-за небольшого превышения уровня перемычка была разрушена, начался сток в направлении к долине р. Каскелен. На протяжении 10 км возникла цепочка озер с временными перемычками. После выхода на пойму р. Каскелен начался стремительный процесс регрессивной эрозии и формирования главного селевого потока, прошедшего по р. Каскелен 33 км – до Капчагайского водохранилища. Весь процесс развивался в течение двух суток (28–29 января). Озеро-накопитель было спущено; бывшую чашу отстойника соединил с р. Каскелен каньон, возникший в песках пустыни. Параметры его таковы: длина 10,6 км, ширина 10–240 м, глубина до 50–53 м, средний уклон 7–8‰. Вынесенные массы песка отложены в долине р. Каскелен (32,7 млн м³) и частично – в Капчагайском водохранилище (4 млн м³). Максимальный расход потока на выходе в долину реки составил 1500–2500 м³/с, расчетная плотность селевой массы – 1900 кг/м³. Помимо масштаба необычным явилось развитие селевого процесса на равнине и в зимнее время. Последствия схода селя носили катастрофический характер: погибли 10 человек, разрушены один железнодорожный и два автодорожных моста, фермы, погибли сотни овец.

Отметим общие особенности техногенных селей:

- распространение их носит локальный характер, включая низкогорные и равнинные территории;
- по составу техногенные сели относятся преимущественно к грязекаменным;
- повторяемость селей разнообразна: от очень частой до очень редкой;
- объем выноса обломочных масс в большинстве случаев относится к категориям мелких и средних, изредка формируются очень крупные и гигантские потоки.

8. К *природно-антропогенным* селям относятся потоки, формирующиеся вследствие опосредованного воздействия хозяйственной деятельности на условия селеформирования. Как правило, причиной возникновения их служат сведение лесов, перевыпас, распашка крутых склонов. Это приводит к усилению неравномерности жидкого стока, возрастанию стока наносов, усилению эрозии и, в конечном счете, к развитию селевого процесса. Например, в Карпатах заготовка древесины в 40–50-е годы XX в. превышала расчетную лесосеку в 2–3 раза. Сплошные рубки и бессистемный спуск деревьев по склонам привели к уничтожению лесной подстилки и интенсивному поверхностному стоку. Частота селей возросла втрое по сравнению с 30-ми годами XX в. Позднее, снижение объема лесозаготовок привело к снижению селевой активности.

Аналогичные процессы развивались, например, в средневековой Европе, когда леса корчевались под пашню, и ранее, в античном Средиземноморье, когда леса сводились для строительства флота. К общим особенностям природно-антропогенных селей относятся: 1) региональный характер распространения; 2) господствующими типами селей служат водокаменные и селевые паводки. Большая часть склоновых селевых бассейнов в горах входит в категорию природно-антропогенных, как и овражные сели на равнинах.

Подчеркнем основные особенности рассматриваемой генетической классификации селевых явлений (табл. 1.22).

1. Классификация охватывает все многообразие селевых явлений.

2. В основу выделения группировок селевых явлений положены главные факторы и первопричины формирования, без которых они невозможны. Выделенные генетические группировки селей существенно различны по особенностям их распространения и режима. Собственно генетические подразделения селевых явлений коррелируют с пространственно-временными характеристиками их развития, демонстрируя естественно-исторический характер классификации.

Таблица 1.22. Осредненные характеристики основных генетических типов селей горных районов северо-востока Евразии

Генетические типы	Характерный период селепроявления (месяцы)												Повторяемость, в годах	Максимальный объем выноса твердой составляющей, тыс. м ³	Характерные типы селей по составу селевой смеси		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII					
Дождевой				+	+	+	+	+		+	+			От 2–3 до 30–50	3000	Водокаменный, грязекаменный, грязевой	
Ледниковый								+		+				15–20	6000	Водокаменный	
Снеговой						+	+							5–10	500	Водоснежный	
Вулканогенный	+	+	+	+									+	+	десятки	500000	Водокаменный
Сейсмогенный				+	+	+	+		+	+	+			—	100	Грязекаменный	

3. Выделением классов селей зонального и регионального развития отражена двойственная природа селевых явлений, одинаково тесно связанных с условиями климатическими и геологическими. Выделение антропогенных селей на уровне класса объясняется не столько отличием их от селей, развивающихся в условиях естественных ландшафтов по основным характеристикам, сколько тем обстоятельством, что само их появление, активизация или затухание определяются в первую очередь

хозяйственной деятельностью человека. В условиях резко возросших возможностей воздействия человека на окружающую среду антропогенный фактор становится в один ранг с факторами природной среды.

4. Направленность или основные типы защиты различны для разных классов и типов селей. Фоновый прогноз разных генетических типов селей также строится на разной основе; генетическая классификация селевых явлений служит одним из оснований при разработке стратегии противоселевой защиты. В первую очередь ее следует использовать в работах по оценке селевой опасности территории, в частности – при составлении карт селевой опасности.

5. Структура классификации удобна для ее совершенствования и детализации. Выделенные восемь типов селевых явлений можно подразделить на виды или подтипы, как это сделано в отношении снеговых селей (водоснежные потоки и снежниковые сели).

Типология селевых и селеподобных потоков. Основные типы селевых потоков горных стран – грязекаменные, водокаменные, селевые паводки – были рассмотрены выше (см. разд. 1.4). Они образуют группу «собственно селевых» потоков. Однако процесс, аналогичный селевому, реализуется в условиях, когда твердая составляющая потока представлена снегом и льдом, а также в водной (субаквальной) среде, – на дне морей и океанов. Существуют также явления, отличающиеся гигантским масштабом, на 1–2 порядка превышающие «нормальные». В целях упорядочения представлений о многообразии форм проявления селевого процесса на Земле разработана типология селевых и селеподобных потоков (табл. 1.23).

Все виды потоков разделены на два класса – формирующихся на поверхности суши (в субаэральной среде) и на дне океана (в субаквальной среде); критерием разделения служит среда проявления. Выделение групп селевых потоков и их названия основаны на признании группы «собственно селевых» потоков в качестве базовой или эталонной. Помимо нее в классе субаэральной среды выделены группы параселевых и ультраселевых потоков. В параселевых потоках твердая составляющая представлена снегом и льдом; характерными типами служат водоснежные и водоледяные потоки. К водоледяным относятся потоки, в селевой

смеси которых твердая составляющая состоит из обломков льда, с участием снега и обломков горных пород. К водоледыным относится часть ледниковых селей; они формируются также в речных руслах. Последние образования сравнительно редкие, отмечены в некоторых высокогорьях и среднегорьях умеренной зоны (Тянь-Шань, Джунгарский Алатау, Алтай). Образуются в период зимних оттепелей вследствие срыва ледя-

Таблица 1.23. Основные типы селевых и селеподобных потоков и характерные значения их параметров

Среда проявления	Группы	Типы	Параметры				
			Плотность, кг/м ³	Скорость, м/с	Толщина, м	Длина пути, км	Объем перемещенных масс, м ³
Субаэральная (поверхность суши)	собственно селевые	Грязекаменный Водокаменный Селевой паводок	1700–2500 1100–1800 1050–1200	2–10	2–10 (до 20)	3–10 (до 50)	$n \cdot 10^4 - 10^5$ (до $5 \cdot 10^6$)
	параселевые	Водо-снежный Водоледыной	900–1100	4–8	2–8 (до 15)	2–4 (до 10)	$n \cdot 10^4$ (до $5 \cdot 10^5$)
	ультраселевые	Вулкано-генный Ледниковый	1100–2500	50–300	40–150	20–300	$n \cdot 10^6 - 10^7$ ($5 \cdot 10^8$)
Субаквальная (дно океана)	квазиселевые	Высокой плотности (грязекаменный) низкой плотности (мутевой)	1500–2400 1030–1300	3–30	до 100–200	сотни (до 700)	$n \cdot 10^9 - 10^{10}$ (до $1 \cdot 10^{11}$)

ных порогов из донного льда или прорыва снежных плотин, созданных лавинами. В формировании селевой смеси участвуют снежно-ледяной покров, наледи, шуга, русловые отложения.

Потоки, входящие в группу *ультраселевых* объединяет значительное превышение параметров по отношению к параметрам потоков первых двух групп, условно отнесенных к категории «ординарных». Это превышение ведет к новому качеству явления: когда толщина пришедших в движение масс достигает десятков метров, на порядок возрастает их скорость и дальность пути и на два порядка – объемы выносов. Движение потока выходит за рамки руслового процесса, приобретая характер геологической катастрофы: на протяжении десятков – первых сотен километров преобразуется рельеф склонов и речных долин. Такие гигантские потоки вызываются взрывными извержениями вулканов и срывами фирново-ледяных масс с крутых высоких склонов гор; в генетическом отношении они относятся к вулканогенным и ледниковым. Твердая составляющая в группе ультраселевых потоков может быть представлена обломками горных пород или снега и льда.

Процессы формирования рельефа и осадков на дне морей и океанов в значительной мере развивается по законам, установленным на поверхности суши. Здесь выявлен весь ряд гравитационных явлений, аналогичных характерным для горного рельефа суши, в том числе – мутьевые потоки или субаквальные сели (В. Т. Фролов, 1984; Дж. П. Кеннет, 1987). Поскольку мутьевые потоки и по условиям протекания процесса, и по ряду существенных признаков отличаются от селевых, они выделены в группу *квазиселевых*. Параметры их намного превосходят параметры ультраселевых: толщина достигает 100–200 м, длина пути – сотен км; ширина потока составляет от нескольких до десятков км. Движение их происходит не только в пределах материкового склона (средний уклон 4–7°, максимальный – 20–30°), но и на глубоководных плоских равнинах, наклон которых измеряется долями градуса. Скорость потока в пределах материкового склона составляет 10–30 м/с, на абиссальных равнинах – 3–9 м/с. Наиболее крупные квазиселевые потоки возникают при землетрясениях силой 8 баллов и более. По составу и плотности субаквальные сели образуют целый ряд – от потоков с высокой концентрацией твердой фазы и разнообломочным составом до потоков тон-

кой суспензии с низкой концентрацией твердой фазы. Выделяется два основных типа – потоки высокой плотности (1500–2400 кг/м³), грязекаменные по составу, образуют отложения мощностью до 5–10 м и более и потоки низкой плотности (1030–1300 кг/м³), собственно мутьевые или суспензионные, песчано-алеврито-глинистые по составу, образуют отложения мощностью менее 1,0–0,5 м. Первый тип потоков характерен для мелководных частей океана, второй – для глубоководных. Отложения субаквальных селей – турбидиты – являются аналогом пролювиальных отложений суши, включая селевые.

В заключение отметим следующее.

1. Все выделенные группы селевых потоков различаются по характерным значениям основных параметров – плотности, скорости, толщине, длине пути, объему перемещенных масс. Максимальными масштабами – по объему перемещенных масс и длине пути – отличаются квазиселевые потоки.

2. Двум главным типам селей на суше (грязе- и водокаменным) соответствуют два типа в субаквальной среде. Значения плотности соответствующих типов селей на суше и дне океана весьма близки. Это свидетельствует, с одной стороны о близости процессов рельефообразования на поверхности суши и дне моря и, с другой – о глобальном характере селевого процесса.

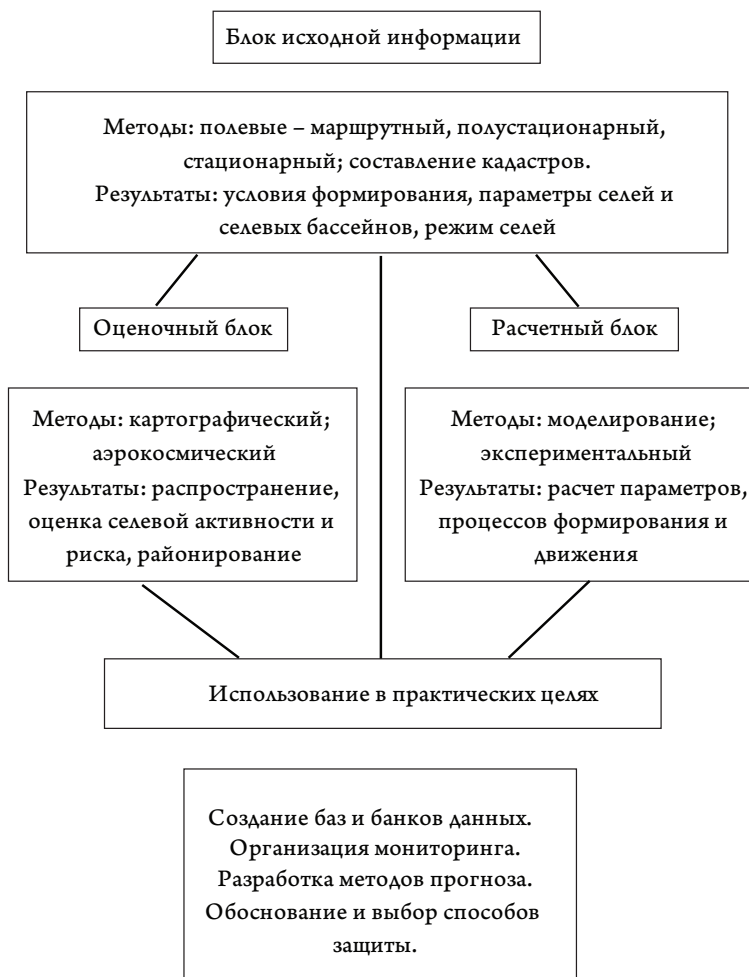
глава вторая

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕЙ

Методы изучения селей можно сгруппировать в три основных блока: исходной информации, оценочный и расчетный (табл. 2.1).

Первый с использованием полевых, полустационарных и стационарных исследований, а также путем составления кадастров селевых бас-

Таблица 2.1. Основные методы изучения селей и результаты их применения



сейнов обеспечивает сбор и накопление первичных сведений о селевых процессах и бассейнах. Оценочный блок, преимущественно методом картографирования селей и дешифрования аэро- и космоснимков, создает картину распространения и основу для оценки степени селевой опасности и районирования селеопасных территорий. Расчетный блок с использованием количественных характеристик, моделирования, натуральных экспериментов, теоретических разработок обеспечивает расчет параметров и процессов зарождения и движения селей. Результаты всех методов изучения используются в прикладных целях – при создании баз и банков данных, организации мониторинга, разработке методов прогноза, обосновании и выборе способов защиты от селей.

2.1. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ

Полевые методы изучения селей включают маршрутные, полустационарные и стационарные исследования. Они служат главным способом получения первичной информации о природе селевых явлений.

Маршрутные исследования. Главными целями маршрутных исследований служат: выявление и описание условий формирования селей, признаков схода селей, получение некоторых количественных характеристик. При характеристике условий селеформирования необходимо обратить внимание на свойства окружающей среды, которые наиболее существенны для развития селевых процессов. Среди геологических условий важны: состав горных пород с позиций их противоденудационной устойчивости; генезис и литология рыхлых отложений, служащих главными поставщиками твердой составляющей селей; наличие зон разломов. Экзогенные процессы – оползни, обвалы, осыпи, плоскостной снос и размыв, снежные лавины – поставляют обломочный материал в русло и нередко служат импульсом зарождения селей. При оценке растительного покрова важно соотношение площадей, залесенных и открытых склонов в пределах селевого бассейна. При наличии современного оледенения необходимо отметить его площадь и долю ее от площади бассейна, а также морфологический тип ледников. Характеристика многолетней мерзлоты включает распространение, состояние, режим.

Два основных типа селей – водо- и грязекаменные могут быть идентифицированы по оставленным следам. К характерным признакам водокаменных селей относятся следующие.

Максимальный уровень отмечен каймой плавника, скоплением песка и щебня, снятой корой на древесных стволах, селевыми террасами. Конусы выноса имеют неровные (рваные) границы; ниже основного поля аккумуляции характерны «рукава», сложенные мелкими фракциями селевых отложений. Селевые отложения несут признаки сортировки, от слабо выраженной до отчетливой. Иногда можно проследить в зоне транзита рост степени сортировки вниз по течению. Отложения рыхлые, не консолидированные, – вследствие незначительной доли пылевато-глинистые фракции в селеформирующих грунтах и их выноса.

Характерные признаки схода грязекаменных селей таковы. Максимальный уровень (в течение одного-двух сезонов) бывает отмечен обмазкой бортов русла, древесных стволов, построек селевой суспензией – грязевой составляющей селевой смеси (рис. 2.1).

Вдоль боковых границ потока располагаются короткие селевые гряды, сложенные с поверхности крупными валунами. Отложения селей несортированные, в высокогорьях – мореноподобные (рис. 2.2).

Конус выноса имеет компактную форму с отчетливыми (резкими) границами, особенно у селевых потоков связного типа. Отложения, как правило, слабо сцементированы.

Выявление, измерения и характеристики элементов рельефа и отложений селевого генезиса позволяют оценить условия зарождения, масштаб и уровень активности потока. Сюда входят: уклон на участках зарождения, транзита, аккумуляции; глубина и ширина селевого потока в зоне транзита; селевые очаги – морфология, генезис, состав горных пород; селевой рельеф (гряды, террасы, поля и полосы аккумуляции, конусы выноса) – морфология, размеры, состав; селевые отложения – гранулометрический состав, текстура, возраст; объем селевых выносов последнего селя – глазомерная или инструментальная съемка; оценка частоты схода – с использованием опросных данных и дендрохронологического метода.



Рис. 2.1. Обмазка древесных стволов селевой суспензией – признак недавно сошедшего селя; бассейн р. Цейдон. Сев. Кавказ, 1986 г.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать заключение о природе селей бассейна: об источниках твердого и жидкого питания селей; о селевых очагах и возможном механизме зарождения селя; о генезисе и типе селей, объеме выноса и частоте схода селей.

Рельеф и отложения селевого генезиса, как правило, несут следы нескольких возрастных генераций. Помимо различий в высоте над урезом реки или над тальвегом временного водотока участки селевого конуса выноса разного возраста различаются по составу растительных сообществ, степени покрытия, степени развития почвенного профиля. Использование этих особенностей для оценки относительного или абсолютного возраста участка помогают *методы фитоиндикации и ландшафтной индикации*. Приведём пример динамики растительного покрова на селевых выносах в бассейне р. Баксан, Сев. Кавказ (табл. 2.2).

Общие особенности развития ландшафта на селевых конусах выноса этого же района представлены в табл. 2.3. Изменения растительных сообществ и состояния почвенного профиля отражают стадии освоения поверхности свежих селевых отложений. Заращение поверхности селевых выносов грязекаменных селей происходит быстрее,

чем водокаменных. Как правило, на селевых конусах выноса формируются растительность и почва, типичные для соседних территорий. Полное развитие лесного сообщества в этом районе Центрального Кавказа происходит за 100–300 лет, а формирование горнолесных почв занимает около 1000 лет.

Для получения данных о возрасте прошедших селей и частоте их схода применяют дендрохронологический метод. Используется подсчет годичных колец деревьев и кустарников на экземплярах, деформированных селевым потоком.

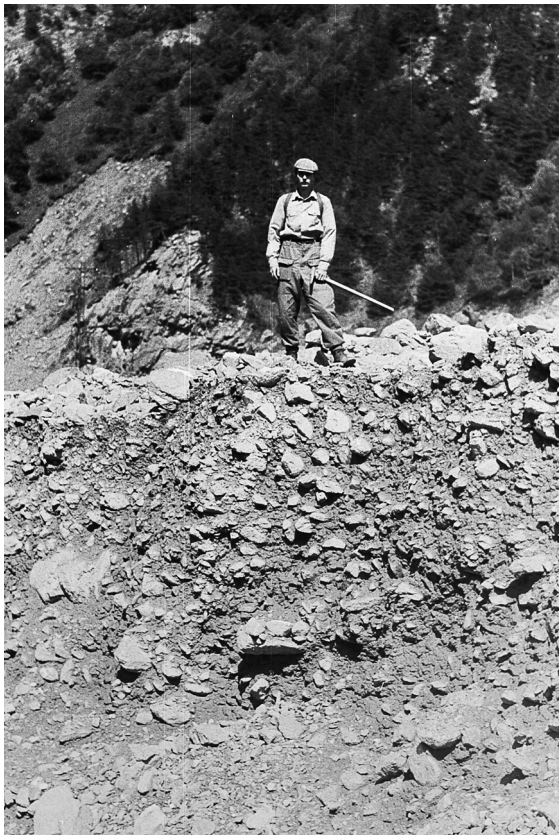


Рис. 2.2. Состав отложений грязекаменного селя на конусе выноса р. Касайкомдон, Сев. Кавказ, 1986 г.

Применяют два способа датирования: по максимальному возрасту поросли и по сбитостям на древесном стволе.

1. *Датирование по максимальному возрасту поросли.* Вдоль боковых границ селевых конусов выноса и селевого русла характерно произрастание лиственных пород деревьев – березы, ольхи, осины, тополя. Они же ранее хвойных расселяются и на конусе выноса. Эти породы обладают способностью к порослевому возобновлению; поросль – пневая и в виде корневых отпрысков – появляется в год повреждения или гибели дерева. Определив максимальный возраст порослевых деревьев (по годовым кольцам) устанавливаем возраст прошедшего селя. Для оценки возраста одной селевой генерации в пределах селевого бассейна отби-

рается не менее пяти спилов деревьев или кустарников. Точность подсчета годовичных колец составляет $\pm 1-2$ года. Этот способ, например, был использован для оценки частоты схода водоснежных потоков в Хибинах (В. Ф. Перов, 1971). Он позволил определить среднюю повторяемость потоков (каждые 10 лет), а также разделить исследованные бассейны на две группы: с более частой и более редкой повторяемостью.

Таблица 2.2. Динамика растительного покрова на селевых конусах выноса Бассейн р. Баксан, Сев. Кавказ (по А. П. Ковалеву, 1983)

Возраст субстрата, годы	Растительный покров
2	Пырей, люцерна, латуки, береза. Покрытие 5–7%
7	25 видов растений. Покрытие 30 (до 50%)
22	28 видов растений. Покрытие 85%. Две ассоциации: злаково-разнотравная и сосновая мертвопокровная.
35	Видов растений значительно меньше, преобладает сосна. Ассоциация по структуре близка к сформированной на ближайшем склоне.

Таблица 2.3. Общие особенности развития ландшафта на селевых конусах выноса в лесной зоне Бассейн р. Баксан, Сев. Кавказ (по И. А. Авессаломовой и др., 2002)

Возраст, годы	Растительный покров	Почвы
До 8 (20)	1. Отдельные растения 2. Пионерные группировки растений, первые лишайники, мхи	Первичное почвообразование (под отдельными растениями)
До 50-60	1. Формирование сложных группировок с преобладанием бобовых 2. Увеличение подроста древостоя и уменьшение видового состава травостоя	Сплошная прокраска гумусового горизонта
До 100 и более	Формирование устойчивого лесного фитоценоза, господство злаков	Дифференциация на горизонты, формирование слабо развитых почв

2. *Датирование по сбитостям на стволах деревьев и кустарников.* Вдоль внешних границ селевых потоков в зоне транзита и на конусе выноса стволы деревьев и кустарников несут следы многочисленных повреждений в форме сбитостей от ударов крупными обломками. На месте уничтоженной коры и частично луба нарастания новых годовичных слоев не происходит. Подсчитав годовичные кольца, образовавшиеся после повреждения, можно получить возраст селя. С этой целью производится отбор древесных спилов, не менее пяти для определения возраста одной генерации. Перед отбором спилов целесообразно выявить количество разновозрастных генераций, – по толщине прироста древесины после удара и высоте над урезом (тальвегом); в этом случае отбор стволов будет более целенаправленным. При отборе спилов предпочтение отдается экземплярам со следами нескольких сбитостей разного возраста.

Обработка спилов (подсчет годовичных колец) проводится в камеральных условиях. Результаты определений оформляются в виде таблицы, в которой отражены: номер образца, участок отбора (адрес), высота над урезом реки, дата ранений (сбитости), принятые даты схода селей. Определение даты схода считается уверенным, когда три из пяти определений имеют одинаковые значения. Принятые даты сходы переносятся на график. Пример такого графика для водоснежных потоков плато Путорана представлен в табл. 2.4.

Анализ графика позволяет установить, что: 1) количество случаев селепроявлений по отдельным бассейнам варьирует от 1 до 11 лет; 2) значения средней повторяемости по отдельным бассейнам лежит в диапазоне от 2 до 10 лет; 3) средняя повторяемость по району (сумма значений межселевых интервалов делённая на их количество) составляет 4,5 лет или каждые 4–5 лет. По частоте схода селей можно выделить также более и менее активные селевые бассейны, и годы селепроявлений массовых (В. Ф. Перов, 1981).

Один из способов дендрохронологического метода в селеведении состоит в изучении кернов древесины, получаемых с применением специального бура. Годы схода селей характеризуются резким уменьшением прироста древесины. Способ позволяет охватить интервал времени в 200–400 лет и выделить периоды активизации и ослабления селевой

Таблица 2.4. Результаты датирования схода водоснежных потоков дендрохронологическим методом, бассейн оз. Лама, плато Путорана, 1979 г.

	Номера бассейнов водоснежных потоков																									
	3	4	5	6	7	8	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26, приг			
1978									•																	
1977	•						•	•	•			•	•			•			•							
1976				•						•												•	•	•	•	
1975									•	•						•	•					•	•	•	•	
1974																							•	•	•	
1973	•	•							•														•	•	•	
1971				•								•				•	•		•		•	•	•	•	•	
1970					•										•			•		•		•	•	•	•	
1969		•																							•	
1968	•									•	•	•	•			•										
1967																			•							
1965						•																			•	
1964	•						•				•														•	
1963																										
1962									•				•												•	
1961																										
1960																			•		•					
1958									•																	
1956	•																									
1952	•																									
1951									•																	
1945												•														
1944					•																					
1942	•																									
1923													•													
1910													•													
1884													•													

• год схода потока

деятельности. Например, этим способом было установлено, что период повышенной селевой активности в кантоне Валлис, Швейцарские Альпы приходится на 1830–1922 гг. (Н. Gartner a. oth., 2003), а в Приморских Альпах Италии – на 1957–1990 гг. (M. S. Stefanini a. A. Ribolini, 2003).

Для определения возраста более древних генераций селевого рельефа и поверхности отложений используется *лихенометрический метод* – метод абсолютного датирования по данным о максимальных диаметрах некоторых групп корковых (накипных) лишайников. Чаще всего используются лишайники из группы *Rhizocarpon geographicum*, обеспечивающих оценку возраста до 4 тыс. лет. Метод основан на том факте, что радиальный прирост особей лишайников, не считая начального этапа ускоренного роста, происходит равномерно. Это дает возможность установить количественную зависимость между диаметром лишайника и возрастом субстрата. Технология реализации метода включает следующие этапы.

1. Составление графика или таблицы скорости прироста лишайника в данном районе, для чего исследуются участки с зарегистрированными

датами схода селей, датированными стадийными моренами, с радиоуглеродными датировками, с каменными постройками, годы возведения которых известны.

2. Выбор участков для измерений максимальных диаметров лишайников. Как правило, такими участками служат селевые гряды, сложенные с поверхности крупными обломками, и фрагменты конуса выноса. Группировке участков по возрастным генерациям помогут различия в степени проективного покрытия поверхности обломков лишайниками и в высоте гряд над тальвегом (руслом).

3. Массовые замеры (не < 50–100 на участке) максимальных диаметров лишайников. Измерения ведутся с точностью ± 1 мм. Диапазон размеров, требующих измерений, составляет одну четвертую часть максимального значения для участка.

4. Определение максимального диаметра лишайника, соответствующего возрасту субстрата.

Лихенометрический метод датирования позволяет выявить этапы активизации селевых процессов в течение нескольких последних тысячелетий. Например, в Приэльбрусье такие этапы следовали за временем формирования конечных морен: соответствовали этапам деградации соответствующих стадий оледенения (В. Ф. Перов, И. Б. Сейнова, Е. А. Золотарев, 1988). Именно этим периодам потепления климата свойственны такие благоприятные для селеформирования явления, как образование ледниково-подпрудных озер, высвобождение моренных толщ и освоение их процессами эрозии, увеличение стока и доли жидких осадков.

Полустационарные исследования. Основными целями полустационарных исследований служат изучение динамики экзогенных процессов как поставщиков твердой составляющей селей, а также получение количественных данных о прошедших селях. Для получения нужных характеристик в пределах селевого бассейна создаются площадки, створы, профили, закрепленные реперами. Периодические измерения на них и измерения после схода селей дают необходимые результаты.

Выбор типа экзогенного процесса для полустационарного исследования определяется его значимостью в подготовке твердой составляющей

селей. Например, на Восточном Саяне основным процессом доставки обломочного материала в селевые русла служит физическое выветривание коренных пород. Для изучения скорости выветривания последних применен *метод камнеулавливающих площадок* (В. К. Лапердин, Ю. Б. Трждинский, 1976, 1977). Площадки представляют собой бревенчатый сруб размером 1х2 м, вплотную примыкающий к скальному обнажению; пол площадки застилается досками и жостью. Взвешивание накопившегося обломочного материала производилось четыре раза в год, через равные промежутки времени. В результате пятилетних наблюдений установлено, что скорость выветривания различается по сезонам (наибольшая летом и весной) и в зависимости от ориентировки склона (на склонах южной экспозиции она в 2–2,5 раза выше). Было установлено, что скорость накопления продуктов разрушения в руслах обеспечивает образование селей через каждые 4–5 лет.

В горном Крыму, где на склонах селевых бассейнов преобладают процессы смыва и струйчатого размыва, применен *метод микронивелировок* (А. А. Коджаспиров, В. И. Суловский, 1974; В. И. Суловский, А. А. Коджаспиров, 1979). Технология метода включает: 1) выбор участков наблюдений с учетом литологии, крутизны, экспозиции, проективного покрытия; 2) на каждом участке оборудуется три профиля, закрепленные металлическими реперами; 3) измерения (микронивелирование) на каждом профиле производится с помощью специальной линейки, накладываемой на реперы. Наблюдения проводятся ежемесячно, а также после значительных ливней. Числа, полученные при замерах по профилю, суммируются; из последних сумм вычитаются предыдущие. Алгебраическая сумма мощностей смытого слоя есть величина вертикального отступления склона; осредненный результат дает среднегодовую мощность смытого слоя.

Результаты наблюдений за процессами смыва и размыва в селевых бассейнах Крыма позволили выделить четыре класса бассейнов с преобладанием горных пород разной противоденудационной устойчивости. По данным табл. 2.5. можно рассчитать среднегодовой объем рыхлообломочного материала, поступающего в русла селевых водотоков.

Для оценки изменений в селевом русле после схода селей используют заранее установленные репера и створы. Повторные измерения на их базе дают возможность получить сведения о максимальном уровне потока, глубине селевого вреза, расположении участков размыва и аккумуляции, объеме перемещенных обломочных масс. Таким же целям служат повторные фототеодолитные съемки, полуинструментальная съемка селевых русел, а в последние годы – система GPS.

Таблица 2.5. Величина накопления обломочного материала в селевых руслах горного Крыма в зависимости от типа преобладающих горных пород в селевом бассейне (по А. А. Коджаспирову и В. И. Суловскому, 1974)

Преобладающие типы горных пород	Величина накопления сносимого материала на 1 м русла, м ³ /год
Легко разрушающиеся аргиллиты, рыхлые четвертичные	2–3
Неустойчивые песчаники	0,5–0,8
Устойчивые песчаники, конгломераты, известняки	0,01–0,1
Крепкие карстующиеся известняки, брекчии	< 0,01

Стационарные исследования предусматривают использование полного набора методов изучения селей, которые позволили бы раскрыть процессы зарождения и динамики селей, что требует длительных и дорогостоящих усилий. Поэтому в качестве примера можно привести лишь один селевой бассейн, где подобные исследования были организованы – бассейн р. Цзянцзя, расположенный на юге Китая в провинции Юннань. Здесь в 1961 г. была открыта Дунчуаньская селевая станция академии наук Китая. Выбор места был predetermined в первую очередь необычайно высокой частотой схода ливневых селей – 10–15 случаев в год. Комплекс наблюдений и исследований охватывает все основные направления селеведения – от условий формирования селей до оптимизации средств защиты. Учет метеорологических условий обеспечивается автоматическими метеостанциями и дистанционными измерителями осадков. Стандартные гидрологические наблюдения дополнены изме-

рениями поверхностного жидкого и твердого стока и влажности почв и грунтов. Динамические характеристики потока – силу удара, скорость, глубину – получают с использованием радара и ультразвуковых устройств. Запись всех характеристик ведется в автоматическом режиме и вводится в компьютер. Отбор проб селевой смеси из движущегося потока осуществляется подвижным пробоотборником, подвешенным над рекой. Предупреждение о приближении движущегося селя получают примерно за 15 минут от датчиков, реагирующих на вибрацию грунта и уровень шума. В результате многолетних исследований получены обширные сведения о режиме, составе и динамике селей. Они используются для опытных разработок по оптимизации средств защиты, таких как предупреждение о селевой опасности, фитомелиорация, совершенствование конструкций защитных сооружений.

Рост возможностей автоматизации и «дистанционности» измерений в последние годы коснулся и селеведения. Помимо упомянутых разнообразных средств автоматизации на селевом стационаре устанавливают одиночные конструкции или системы для получения одного или нескольких параметров селей. Например, в одном из селевых бассейнов Итальянских Альп установлена видеокамера для определения поверхностной скорости селя (M. Arattano, P. Grattoni, 2000). В этом же регионе работает автоматическая система мониторинга, основанная на использовании вибрации грунта, ультразвуковых приемников, анализе видеозаписей для получения данных о скорости фронта, мгновенной поверхностной скорости и глубине потока (R. Genevois a. oth., 2000).

2.2. КАДАСТРЫ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ

С накоплением данных о селепроявлениях появилась необходимость в их систематизации. Она нужна как для развития селеведения, так и для проектных организаций в качестве исходного материала для разработки проектов защиты от селей. Формой такой систематизации служит кадастр селевых бассейнов. Первый опыт создания регионального кадастра, сопровождавшегося схематической картой, принадлежит И. И. Рошину (1931). Кадастр и карта служат приложением к обзорной

статье о состоянии противоселевой защиты в Закавказье. Кадастр, названный «Ведомость бассейнов горных потоков, производящих селевые выносы и наводнения в республиках ЗСФСР» включает сведения о 65 селевых бассейнах. По каждому из них представлены данные о площадях: всего бассейна, сельскохозяйственных земель, пастбищ, осыпей и скал, лесов. Указаны также процент лесистости, объекты угрозы от селей, категория «вредоносности». На карте масштаба 1:1,5 млн цветом охарактеризованы типы поверхности (лес, летние и зимние пастбища, скалы и осыпи), а штриховкой – районы распространения селей, наводнений, наводнений и селей.

Второй пример составления кадастра селевых бассейнов находим в книге А. Л. Брилинского (1936), посвященной состоянию селевой проблемы в целом и, в частности, в Закавказье. В раздел о распространении селей входит ведомость селевых бассейнов Азербайджана, содержащая сведения о 41 бассейне. Содержание ведомости аналогично составленной И. И. Роциным.

В монографии Н. М. Трофимова «Селевые воды Туркмении» (1937) в виде приложения представлена «Летописная сводка сведений о селях ТССР». Данные о селевых бассейнах и селепроявлениях в текстовой форме сгруппированы по отдельным речным бассейнам, населенным пунктам, железнодорожным станциям, а внутри групп – в хронологическом порядке. Имеются ссылки на источники информации. В описаниях находим сведения о продолжительности схода селей, расходах, ущербе от селей и др. Количество охарактеризованных участков – 59, описанных случаев схода – 190.

В коллективной монографии «Сели в СССР и меры борьбы с ними» (1964) кадастр селевых бассейнов представлен в виде приложения под названием «Сводные данные о наблюдавшихся селях». Он включает сведения о датах схода селей, причине и последствиях, источнике информации. Данные охватывают преимущественно горные районы европейской части, Средней Азии и Казахстана бывшего СССР. Отражено 575 случаев схода селей в 355 селевых бассейнах.

На третьей Всесоюзной конференции по селевым потокам (1952) было поддержано предложение о составлении кадастра селевых бассейнов

на всю территорию страны. Оно было реализовано Гидрометеослужбой в форме выпуска трех отдельных томов. 1) Каталог селеопасных рек Казахстана, Средней Азии и Восточной Сибири (Иркутская обл. и Бурятская АССР). Алма-Ата, 1967. 2) Каталог селеопасных рек на территориях Северного Кавказа и Закавказья, Тбилиси, 1969. 3) Кадастр (каталог) селеопасных рек и селевых паводков в горных районах Украинской ССР (Крым, Карпаты). Киев, 1969. Выпуски кадастра составлены по единой программе; все данные представлены в форме таблиц. Виды таблиц следующие: 1) список селеопасных рек включает сведения о площади водосбора, длине и среднем уклоне водотока, абсолютных отметках истоков и конуса выноса, датах схода селей; 2) сведения о прошедших селях содержат сведения о датах прохождения, продолжительности, причинах возникновения, зоне возникновения, максимальной крупности наносов; 3) основные параметры селей включают сведения о скорости, наибольшем расходе, продолжительности, количестве и высоте волн (валов), объеме селевых паводков, объемном весе селевой массы, объеме отложений на конусе выноса; составлены для отдельных селевых бассейнов; 4) указатель опубликованных работ и неопубликованных материалов, содержащих сведения о селеопасных реках и селях, с краткими аннотациями.

В кадастре отражены сведения о 2181 селевом бассейне, выявленные в процессе его составления. Выпуски кадастра снабжены схематическими картами, на которых отражено расположение бассейнов. Кадастр – полная сводка данных о селевых явлениях на территории бывшего СССР на конец 1960-х годов.

В 2001 г. опубликован «Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа». Он охватил территорию четырех республик: Северной Осетии, Кабардино-Балкарии, Карачаево-Черкесии, Адыгеи. Содержание кадастра подобно содержанию кадастра 1960-х годов: представлены данные по морфологии селевых бассейнов, генезисе, типе селей, максимальному объему выносов, повторяемости, ущербе от селей. Всего охарактеризовано 423 селевые бассейна. В кадастр входят карты селевых бассейнов в масштабе 1:500 000; бассейны разделены на четыре категории по значениям максимальных объемов выноса.

В 2001 г. был выпущен также кадастр аналогичного содержания отдельно по Кабардино-Балкарской республике.

Обзор содержания кадастров селевых бассейнов, опубликованных в период 1931–2001 гг., позволяет отметить некоторые особенности их эволюции. Набор характеристик селевых бассейнов изменился: если в 30-е годы XX в. их основу составил растительный покров (сельскохозяйственный аспект), то в 60-е годы и позднее это собственно селевые и гидрологические данные. Кадастры в большинстве случаев сопровождаются картами, содержание которых со временем усложняется, а масштаб укрупняется. Кадастры селевых бассейнов перешли из разряда приложений к статьям и книгам в разряд самостоятельных произведений научно-прикладного характера. Таким образом, кадастры селевых бассейнов остаются востребованным источником информации в качестве систематизированной сводки первичных данных о селевом процессе регионов. Современные тенденции направлены к тому, чтобы карта селевых бассейнов среднего масштаба (1:200 000), инвентаризационная по назначению, стала главным элементом кадастра, а сведения, представленные в форме таблиц – ее дополнением.

2.3. АЭРОМЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕЙ

Дистанционные методы изучения природных явлений, включая селевые, приобретают все большее значение. Среди них в селеведении широко используются аэровизуальные наблюдения и дешифрирование аэрофотоснимков и космических снимков.

Аэровизуальные наблюдения. Выделяются два ряда таких наблюдений: дежурные аэровизуальные обследования и аэровизуальные обследования при картографировании селевых явлений в разных масштабах. *Дежурные обследования* проводятся в районах с развитой инфраструктурой и высоким уровнем селевой опасности. Целью их служит выявление изменений в реальных или потенциальных очагах зарождения селей, ведущих к снижению их устойчивости.

Объектами наблюдений служат ледниковые и подпрудные озера, ледниково-моренные комплексы, активные оползни и др. Для оценки

изменений уровня озер используются заранее установленные рейки, показания которых можно снять с вертолета. Дежурные облеты проводятся в период наибольшей селевой опасности, а также после ливневых или длительных дождей, землетрясений.

При картографировании селей используется два вида аэровизуальных обследований – рекогносцировочные и контрольные. *Рекогносцировочные обследования* проводятся перед началом полевых работ. Целями их служат: ознакомление с условиями селеформирования, оценка степени селевой опасности, выбор ключевых участков для полевых работ. *Контрольные обследования* проводятся в период полевых работ в целях проверки результатов камерального дешифрирования и контроля составленных карт.

Дешифрирование аэрофотоснимков – информативный метод изучения селей, особенно в целях картографирования. Вопросы дешифрирования селей были специально рассмотрены в публикациях Г. Н. Голубева и И. А. Лабутиной (1966), А. В. Садова (1972) и др. Оптимальным масштабом аэрофотоснимков при изучении селей считается от 1:30 000 до 1:40 000; при детальном изучении селевых бассейнов используют снимки масштаба от 1:10 000 до 1:15 000. Результаты дешифрирования аэрофотоснимков помогают охарактеризовать как условия селеформирования (рельеф, геологическое строение, растительный покров), так и особенности селевого процесса региона. Для этого используются *дешифровочные признаки* – форма, тон, рисунок изображения (табл. 2.6).

Для зоны зарождения ледниковых селей характерен V-образный врез в рыхлых отложениях, дождевых селей – денудационная воронка, переходящая в рытвину. Здесь наиболее информативна форма изображения. Для зоны транзита типичен светлый тон полосы русла; это главный дешифровочный признак селей: чем светлее тон, тем моложе возраст прошедшего селя. Характерными элементами в зоне транзита служат также: фестончатый рисунок бровки русла (следствие локальных обрушений после подмыва бортов) и выбросы селевых отложений за пределы русла на участках резких поворотов (следствие инерционности потока). Следовательно, главным дешифровочным

Таблица 2.6. Характерные дешифровочные признаки селевых потоков на черно-белых аэрофотоснимках м-ба 1:20 000–1:40 000

Морфодинамические зоны селевого бассейна	Дешифровочные признаки	
	Прямые (форма, тон, рисунок изображения)	Косвенные
Зарождения	<p><u>Форма</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Узкие V-образные врезы на уступах склонов и морен • Водосборная воронка, осветленная (полностью или частично) процессами смыва и размыва <p><u>Тон</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Резка смена тона полосы русла – серого на светлый – в месте зарождения селя • Смена тона селевых врезов на моренных уступах, фиксирующих участки зарождения селей разного возраста. 	Опльвина, оползень, участок обрушения, ниже которых в русле наблюдаются следы схода селя.
Транзита	<p><u>Форма</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Русло занимает часто все дно долины, с резкими бортами на участках вреза. • Гряды крупнообломочного материала или плоские ленты селевых отложений вдоль русла. • Чередование суженных и расширенных участков русла: последние отмечают местные области (поля) аккумуляции • Выбросы обломочного материала на склоны на участках резких поворотов русла <p><u>Тон</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Светлый - в полосе русла и от светлого до серого – на участках промежуточной аккумуляции и в прирусловой зоне <p><u>Рисунок</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Фестончатый, со следами береговых обрушений вдоль бровки руслового вреза 	Узкие полосы или вытянутые островки лиственных пород (тополь, ольха, береза) в зоне воздействия селя среди хвойных и смешанных лесов.
Аккумуляции	<p><u>Форма</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Селевой конус выноса в виде веера или узкого сектора с «рукавами» ниже основного поля аккумуляции • Глубокий ящикообразный врез в поверхность древнего конуса <p><u>Тон</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Светлый – отложений свежих селей, светло-серый – селей недавнего прошлого <p><u>Рисунок</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Струйчатый, образующийся в результате чередования гряд обломочного материала и сухих русел • Одиночные глыбы или их цепочки, ориентированные вдоль оси движения селя 	Наличие нескольких контуров, занятых разнородной или разновозрастной растительностью, фиксирующих сели разного возраста.

признаком в зоне транзита служит тон изображения и в качестве дополнительных – рисунок и форма изображения.

Для зоны аккумуляции типичен селевой конус выноса – в форме полного веера или сектора – фрагмента пролювиального конуса выноса. Водокаменные селевые потоки образуют «рукава», вытянутые ниже границы конуса выноса; для их отложений характерен струйчатый рисунок изображения, – следствие чередования селевых гряд и сухих русел. Тон изображения светлый или светло-серый, аналогичный тону селевого русла. Нередко представлены несколько возрастных генераций, различающихся по тону или по косвенным признакам (разнородной или разновозрастной растительностью). Таким образом, для дешифрирования зоны аккумуляции одинаково информативны все типы дешифровочных признаков, включая косвенные.

Картографирование селевых явлений с использованием аэрофотоснимков проводят в три этапа.

1. Камеральное дешифрирование. Проводится до начала полевых работ. Основными целями служат выявление дешифровочных признаков и составление предварительного варианта карты. Детальность работ зависит от масштаба исследований: при мелко- и среднемасштабном картографировании ограничиваются выборочным дешифрированием, при крупномасштабном – проводится сплошное дешифрирование. По результатам камерального дешифрирования намечаются маршруты аэровизуальных и наземных обследований.

2. Наземные обследования. Сосредотачиваются на ключевых участках и сопровождаются полевым дешифрированием аэрофотоснимков. Это позволяет уточнить и детализировать дешифровочные признаки.

3. Окончательное дешифрирование аэрофотоснимков и составление окончательного варианта карты.

Приведем примеры использования результатов дешифрирования аэрофотоснимков для решения конкретных задач на селеопасных территориях.

В Армении господствующими процессами формирования твердой составляющей селей служат смыв и размыв почвогрунтов. Оценив степень эродированности селевых бассейнов можно выйти на районирование по степени активности формирования твердой составляющей селей

(З. Н. Торосян, 1972). На основе сплошного камерального дешифрирования аэроснимков крупного масштаба и полевого дешифрирования на ключевых участках выявлен основной дешифровочный признак степени эродированности фотоизображения. С уменьшением степени эродированности тон изображения меняется от ярко-белого до темно-серого. При оценке категории эродированности учитывалась также густота овражно-балочной сети. По результатам дешифрирования составлена карта эродированности, а на ее базе для каждого селевого бассейна определена активная площадь селеобразования. На базе карты эродированности составлена карта районирования территории республики по относительной активности площади селеобразования. Выделенные районы характеризуют потенциальные возможности формирования твердого стока селевых и речных бассейнов.

В Узбекистане при составлении карты селевых бассейнов было проведено сплошное дешифрирование аэрофотоснимков (И. В. Кирилюк, Л. В. Чалмаев, 1987). Его результаты (в сочетании с полевым дешифрированием) позволили разделить бассейны на два типа, в одном из которых формируются грязекаменные сели, в другом – водокаменные (наносоводные). Были использованы различия в форме и рисунке изображения конусов выноса: в случае грязекаменных селей форма конуса более компактная, поскольку сортировки по крупности не происходит. Установлено господство в Узбекистане водокаменных селей (90% общего количества). Очаги зарождения водокаменных селей располагаются в низкогорьях и среднегорьях, грязекаменных – в верхних частях гор.

Дешифрирование аэрофотоснимков используется также для получения некоторых количественных характеристик. Приведем в качестве примера анализ формирования катастрофического селевого потока на р. Иссык в Казахстане 7.07.1963 г. (Б. А. Парамонов, 1976).

Задача определения объема и распределения перемещенных обломочных масс решалась методом дешифрирования аэрофотоснимков разных лет залета – до и после схода селя. На первом этапе стереофотограмметрическим методом был определен объем оползневых масс на фронтальном уступе Жарсайской морены, которые послужили источником образования селя. На втором – полевым этапе выделены участки

для определения мощности селевых отложений, определены размеры врезов. На третьем – камеральном этапе на топографическом стереомере определены мощности селевых отложений на конусе выноса. В результате проведенных операций получена картина распространения объемов захваченных и отложенных обломочных масс на пути движения селя от подножья уступа морены до оз. Иссык. Основные черты ее таковы: объем оползня – 6,2 млн м³, отложено до озера 5,8 млн м³.

В каждом горном регионе, отличном от другого по характеру рельефа, климата и ландшафтной поясности, набор дешифровочных признаков селевых явлений имеет особенности, в частности, меняются ведущие дешифровочные признаки. В альпийских и субальпийских поясах высокогорья, в горах Субарктики рельеф и отложения селевого генезиса читаются отчетливо; в качестве главных дешифровочных признаков служат прямые: форма и тон изображения. Менее отчетливы следы селей в пустынных и полупустынных ландшафтах. Выявлению селевых русел здесь больше помогает рисунок изображения – скопление крупных обломков в зоне транзита, цепочки валунов в зоне аккумуляции. В зонах южной тайги и смешанных лесов места схода селей маскируются активным восстановлением растительности – лесной и кустарниковой. В этих условиях эффективно использование косвенных дешифровочных признаков, таких как состав и возраст древесных пород.

Таким образом, дешифрирование аэрофотоснимков с учетом региональных особенностей селевых процессов и, в особенности, с привлечением результатов полевых работ в селевых бассейнах позволяет следующее.

1. Оценить степень селевой активности территории по густоте сети селевых русел.
2. Оценить приближенно повторяемость селей по преобладающему тону селевых русел и отложений. Светлый контрастный тон отличает свежие сели, серый – недавнего прошлого; преобладание того или иного характеризует относительно частую или редкую повторяемость селей в пределах участка. Для правильного суждения об активности селей необходимо знание региональных показателей скорости зарастания селевых отложений. Еще более уточняет представление об этом сравнение аэрофотоснимков разных лет залета.

3. Определить тип селевых потоков. Состав селевой массы и реологический тип селей отражается в динамике потока и характере отложений, что, в свою очередь, находит отображение на аэрофотоснимке. Для связных – грязевых и грязекаменных – селей характерны четкие границы контура селевых отложений в зоне аккумуляции. Для несвязных водокаменных селей типично отсутствие такой границы – зона активного переформирования русла с селевыми валами постепенно переходит в поле пролювиальных отложений или аллювиальное русло. Для зоны транзита и аккумуляции водоснежного селевого потока характерен равномерный светло-серый тон зернистой структуры.

4. Получить некоторые количественные характеристики. Измерение по специальной методике на крупномасштабных аэрофотоснимках позволяет получить некоторые количественные показатели, характеризующие селевые бассейны, отложения селевого потока или динамику очагов зарождения. К ним относятся: а) степень эродированности селевых бассейнов или пораженности их экзогенными процессами; б) объем сместившихся и перемещенных обломочных масс; в) динамика термокарстовых процессов на современных моренах.

Следует отметить, что достоверность предварительного (камерального) дешифрования, или правильность истолкования изображения может быть невысокой, особенно в неизученных районах. Она резко возрастает при сочетании полевого дешифрирования на ключевых участках с камеральным на весь участок съемки. Именно такое сочетание дает максимальный эффект использования аэрофотоснимков при картографировании селеопасных районов.

Дешифрирование космических снимков. Космические снимки, в отличие от аэрофотоснимков, характеризуются большей обзорностью и меньшей детальностью изображения. Для дешифрирования селевых потоков предпочтительнее использование не черно-белых, а цветных или спектрональных снимков. Дешифровочные признаки селевых процессов на космических снимках те же, что и на аэрофотоснимках. На космических снимках крупного масштаба (1:200 000) отчетливо распознаются селевые русла грязе- и водокаменных селей, конусы выноса водоснежных потоков. С уменьшением масштаба космических снимков

снижается роль морфологических признаков и возрастает значение фототона, структуры изображения, конфигурации объекта, ландшафтных характеристик. В качестве косвенных признаков дешифрирования селевых бассейнов на космических снимках могут служить: процент свободных от растительности участков, занятых выходами скал и рыхлых толщ, процент эродированных поверхностей среди лугово-степных ландшафтов, процент лесистости.

Использование космических снимков эффективно при мелко- и среднemasштабном картографировании селевых явлений, когда важным этапом работы является анализ условий развития. Космические снимки помогают правильно оценить геолого-геоморфологические условия формирования селевых явлений. Дешифрирование космических снимков мелкого масштаба позволяет: а) уточнить границы геоморфологических районов или типов рельефа; б) оконтурить площади сгущения тектонических трещин и разломов; в) оценить степень эродированности или обнаженности территории.

Космические снимки крупного масштаба (1:200 000) в сочетании с наземными работами на ключевых участках могут быть использованы для составления карт селевой опасности в среднем масштабе, типизации селевых потоков и селевых бассейнов, получения некоторых количественных характеристик и зависимостей. Приведем примеры.

На южном склоне Большого Кавказа в пределах Азербайджана был исследован характер связи показателей лесистости и максимальных селевых расходов (Н. А. Иманов, Ш. И. Исрафилов, 1982). По мелкомасштабным космическим снимкам определены площади лесов в пределах ряда селевых бассейнов и оценена их лесистость (отношение площади, занятой лесом к площади бассейна). Сравнение лесистости со значениями максимальных расходов подтвердило существование прямой связи между этими показателями: с ростом удельной площади лесов максимальный селевой расход уменьшается.

В этом же районе с использованием космических снимков были получены и некоторые параметры селевых потоков (Н. А. Иманов, Л. Х. Ахмедова, Ш. И. Исрафилов, 1982). По снимкам были определены площади селеобразующих очагов, а затем проанализирован характер связей меж-

ду максимальным селевым расходом и удельной площадью селевых очагов и уклоном водотока. С ростом удельной площади очагов и уклона водотоков растут и значения максимальных расходов селей. Эту зависимость можно рассматривать в качестве нового способа оценки максимальных расходов селей с использованием космических снимков.

На основе сплошного дешифрирования космических снимков масштаба 1:200 000 составлены карты селевой опасности в масштабе 1:500 000 на территории республик Узбекистан и Киргизия.

2.4. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СЕЛЕЙ

Картографирование – один из главных методов исследования распространения селевых явлений и оценки селевой опасности в прикладных целях. Карты селей одинаково необходимы как для проектирования мер защиты, так и для получения справки общего характера о границах распространения потоков и уровне их активности. Разным целям использования селевых карт отвечают карты разных масштабов – мелкого, среднего, крупного и детального.

Мелкомасштабные селевые карты (1:1 млн и мельче). Основное назначение научно-справочное, поэтому чаще всего карты включаются в состав комплексных атласов (табл. 2.7).

Они входят также в нормативные документы в виде схематических карт (Строительная климатология..., 1983). Названия карт за последние полвека меняются от нейтральных «сели, селевые потоки, селевые явления» к «селевая опасность»; последнее господствует в названиях селевых карт, изданных в качестве самостоятельных произведений (табл. 2.8).

Термин «селевая опасность» используется в большинстве случаев в качестве термина свободного пользования. В одних случаях это синоним понятия «селевая активность», в других – сочетание степени селевой активности и степени освоенности территории. В последние годы понятие «селевая опасность» как сочетание показателей селевой активности и освоенности территории вытеснено понятием «селевой риск».

Основным элементом специального содержания мелкомасштабных карт служит селеопасный (селеактивный) район. Для харак-

теристики селевых потоков, представленных в пределах района в 1960–70-е годы использовались такие показатели, как повторяемость, объем выносов, тип селей, причины возникновения. Позднее опасность (активность) отображалась интегральным показателем, включающим процент площади, занятой селевыми бассейнами, и максимальный объем селевых выносов. Показатель «причины селей» сменился показателем генетического типа селей.

Основными источниками для составления мелкомасштабных карт селей служат: карты селей среднего и крупного масштаба; кадастры селевых бассейнов, публикации, фондовые материалы; результаты дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков; результаты полевых исследований на ключевых участках. При недостаточности перечисленных источников привлекают анализ факторов селеформирования (В. Ф. Перов, 1976; 1989).

Среднемасштабные селевые карты (1:200 000 – 1:500 000). Опыт составления и издания селевых карт среднего масштаба незначителен. Геологами Грузии была издана «Карта инженерно-геологического районирования территории Грузии по степени селевой опасности и вероятности возникновения селей» (1986) в масштабе 1:500 000 (табл. 2.8).

На карте реализован подход, предложенный в руководстве по инженерно-геологической съемке, в котором в качестве главного критерия интенсивности процесса используется коэффициент пораженности: отношение общей длины селевых русел рек и временных водотоков к суммарной длине всех водотоков на данном участке. На карте выделено семь категорий районов, различных по значениям этого коэффициента. Далее выделено 23 района с близкими инженерно-геологическими условиями развития селевых процессов. По каждому району в легенде карты в виде развернутой таблицы представлены сведения об экзодинамических процессах формирования рыхлообломочного материала, литологическом составе селеформирующих грунтов, характере водного питания, типе селевых потоков, гранулометрическом составе селевых отложений, объемах выноса, повторяемости селей.

На территорию Узбекистана и Киргизии подготовлены карты «Селевой опасности» в масштабе 1:500 000 (И. В. Кирилюк, Л. В. Чалмаев,

Табл. 2.7. Атласные карты селевых явлений

Атлас	Название карты, автор	Масштаб	Специальное содержание: использованные показатели.
1. Атлас Армянской ССР, 1963	Селевые потоки. М.Б. Цовян	1:1,5 млн	1. Активность (повторяемость); межселевой интервал: < 3; 3-10; > 10 лет. 2. Тип: грязевой, грязекаменный, водокаменный.
2. Атлас Азербайджанской ССР, 1963	Селевые потоки. С.Г. Рустапов	1:2,5 млн	1. Тип: структурный, турбулентный. 2. Уровень селевой деятельности: три категории. 3. Объем выноса: > 1,0; 0,5-1,0; < 0,5 млн.м ³ .
3. Атлас Грузинской ССР, 1964	Селевые явления. М.С. Гагошидзе	1:2,5 млн	1. Тип: структурный, турбулентный. 2. Районы возможного развития селевых явлений.
4. Атлас Таджикской ССР, 1968	Сели. Ю.С. Усков	1:3 млн	1. Селеопасные зоны: предгорная, среднегорная, высокогорная. 2. Причины: ливни, интенсивное таяние ледников, интенсивное снеготаяние, смешанного происхождения
5. Атлас Узбекской ССР, 1982	Сели. В.Л. Бабко	1:3,5 млн	1. Повторяемость; межселевой интервал: 1 и <; 1-3; 4-10; 10 и > лет. 2. Тип: грязекаменный, грязевой, наносоволдный. 3. Причины: ливень, дождь; интенсивное снеготаяние.
6. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997	Селевые явления. Серия из восьми карт: территория бывшего СССР; Б. Кавказ; Тянь-Шань (зап. часть); Альпы; Гиндукуш и Каракорум; Кунь-Лунь, Тибетское нагорье, Гималаи; горы запада Канады и США; Ю. Америка. Авторы: В.К. Бронникова, О.И. Булларина, Н.Ф. Колотилин, А. Медеуов, В.Ф. Перов, Н.Ф. Сеньковская, Р.В. Третьякова.	От 1:5 млн до 1:30 млн	1. Генетические типы и их сочетания. 2. Активность (интегральный показатель, включающий густоту селевых русел и объем выносов): три степени.

7. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997	Селевая опасность и основные направления защиты. В.Ф. Перов	1:20 млн	1. Сочетания основных и дополнительных мер защиты в связи с генезисом селей и географическими условиями: семь категорий.
8. Экологический атлас России, 2002	Сели. В.Ф. Перов, О.И. Булдарина, Н.Л. Кондакова	1:15 млн	1. Генетические типы и их сочетания. 2. Активность (интегральный показатель, включающий густоту селевых русел и объем выносов): три степени
9. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, т.II, 2004	Селеопасные районы. В.Ф. Перов	1:1,5 млн	1. Генетические типы и их сочетания. 2. Активность (интегральный показатель, включающий густоту селевых русел и объем выносов): три степени
10. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации, 2005	Опасность селей. В.Ф. Перов	1:15 млн	1. Опасность селей (интегральный показатель, включающий процент площади, занятой селевыми бассейнами и объем выносов): пять категорий. 2. Генетические типы и их сочетания.
11. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации, 2005	Риск селей. В.Ф. Перов	1:15 млн	1. Риск селей (интегральный показатель, включающий уровни селевой опасности и освоенности территорий): пять категорий. 2. Генетические типы и их сочетания.
12. Комплексный атлас Украины, 2005	Сели (Крым и Карпаты). А.В. Щербак	1:2 млн	1. Селевая опасность: четыре категории 2. Типы селей: водокаменный, грязекаменный. 3. Причины: ливневые, дождевые, снегодождевые.
13. Национальный атлас России в четырех томах, т.2, 2007	Сели. В.Ф. Перов, О.И. Булдарина	1:15 млн	1. Генетические типы и их сочетания. 2. Активность (интегральный показатель, включающий густоту селевых русел и объем выноса): три степени.
14. The national phisicol atlas of China, 1999	Селевые бедствия	1:10 млн	1. Районирование по уровню селевой опасности: четыре категории. 2. Участки селепроявлений, охарактеризованные по разным показателям: повторяемости, объему выносов, плотности селевой смеси, морфологии селевых бассейнов. 3. Населенные пункты, пострадавшие от схода селей; антропогенные сели.

Таблица 2.8. Карты селевых явлений

Название	Редактор	Масштаб	Специальное содержание: использованные показатели
Карта селеопасных районов СССР. 1975	В. Ф. Перов, С. М. Флейшман	1:8 млн.	1. Доля площади, занятой селевыми бассейнами (3 категории). 2. Относительная высота гор. (3 категории). 3. Типы селей по характеру водного питания.
Карта инженерно-геологического районирования территории Грузии по степени селевой опасности и вероятности возникновения селей. 1986	Э. А. Церетели	1:5 00 тыс.	1. Коэффициент пораженности (7 категорий). 2. Районирование по инженерно-геологическим условиям (23 района). 3. Селевые водотоки. 4. Формации горных пород.
Карта селевой опасности Грузинской ССР. 1987	Г. И. Херхеуидзе	1:1 млн.	1. Степень опасности (3 категории) – по размерам селевого очага, максимальному расходу, объему выносов (>1 ; $0,2-1,0$; $< 0,2$ млн. м ³). 2. Угрожаемость. 3. Генезис водной составляющей. 4. Преобладающий тип (грязекаменный, наносоводный).
Карта селевой опасности Закавказья и Дагестана. 1989	Г. И. Херхеуидзе	1:1 млн.	1. Степень опасности (3 категории) – по размерам селевого очага, максимальному расходу, объему выносов (>1 ; $0,2-1,0$; $< 0,2$ млн. м ³). 2. Угрожаемость. 3. Генезис водной составляющей. 4. Преобладающий тип (грязекаменный, наносоводный).
Карта фоновой оценки селеопасности территории Казахской ССР. 1988	Н. Ф. Колотилин, Э. И. Нурмамбетов, А. Ю. Хегай	1:1 млн.	1. Степень опасности (4 категории) – по расходам, повторяемости, энергетическому классу, объему выносов (до 5 и $>$; до 1; до 0,5; $< 0,5$ млн. м ³). 2. Типы селей по характеру водного питания. 3. Характерные типы селевых очагов.

1988; Л. В. Чалмаев, 1990). Основными показателями служат: 1) степень опасности (4 категории) – по максимальным расходам и объемам выноса (> 1000 , $10-1000$, $1-100$, < 1 тыс. м³); 2) селевые русла и типы потоков (грязекаменные и наносоводные); 3) причины возникновения (ливни, гляциальные сели); 4) объекты, находящиеся в селеопасной зоне. Основная особенность составления – широкое использование материалов космической съемки. Карта составлена методом сплошного дешифрирования космических снимков с полевыми наблюдениями на ключевых участках. В качестве основы использован космофотоплан с разреженными элементами топографической основы.

На территорию Северного Кавказа (в границах Российской Федерации) подготовлена «Карта селевых бассейнов Северного Кавказа» в масштабе 1:200 000 (П. Ф. Перов и др., 1999). По содержанию и факту сочетания с кадастром ее можно отнести к типу инвентаризационных. На карте отражены индивидуальные характеристики селевых бассейнов по двум показателям: объему выносов, 5 категорий (> 1000 , $100-1000$, $50-100$, $10-50$, < 10 тыс. м³) и повторяемости, 5 категорий (межселевой интервал: < 3 ; $3-7$; $8-15$; $16-30$; > 30 лет). Отображены также: генетические типы селей и их сочетания, селевые русла, населенные пункты, подверженные воздействию селей. В кадастре содержатся сведения по морфологии селевых бассейнов, датам схода селей, типам селей, источникам информации. При подготовке карты использованы результаты многолетних полевых исследований и дешифрирования аэрофотоснимков, материалы крупномасштабного картографирования, фондов и кадастров.

Крупномасштабные селевые карты (1:25 000 – 1:50 000). Основное назначение карт – служить основой для разработки проектов или схем защиты от селей. Оно требует отображения на картах комплексной характеристики селевых бассейнов. Такая характеристика включает в себя данные о селевых бассейнах, селевых потоках и условиях их развития, необходимых для познания природы селевого процесса. Главными элементами содержания собственно селевого характера на крупномасштабных селевых картах служат: а) селевые бассейны, русла, очаги за-

рождения и твердого питания селей; б) формы рельефа и отложения селевого генезиса – врезы, террасы, валы, конусы; в) характеристики селевых потоков – состав селевой массы, объем выносов, повторяемость. Условия развития селевого процесса характеризуются литолого-генетическими комплексами горных пород, экзогенными процессами и типами растительного покрова. Нагрузка карты, характеризующая условия развития селей, может варьировать в зависимости от целей использования и специфики региона. Метод составления крупномасштабных селевых карт – специальная съемка с детальными полевыми работами в каждом селевом бассейне: подсчет объемов селевых отложений и запасов рыхлых толщ в очагах зарождения и твердого питания селей, исследование их гранулометрического состава.

В методику составления карт входит сплошное дешифрирование аэрофотоснимков. Составление карт сопровождается созданием кадастра селевых бассейнов.

Детальные селевые карты (1:1 000–1:10 000) составляются на отдельные участки – селевые конусы выноса, населенные пункты. Основное назначение их – выделение селеопасных зон и выдача рекомендаций по защите. Опыт составления подобных карт известен в ряде зарубежных стран.

В Австрии (Hochwasser und Lawinenschutz..., 1975) для целей местного планирования составляются детальные карты м-ба от 1:1 000 до 1:5 000. Цель их – выделить участки разной степени опасности для развития поселений и городов. Оценка территории реализуется методом зонирования. Выделяются зоны: 1) «красная» - наиболее опасная для людей и сооружений; 2) «желтая» – опасность существует, но здания не разрушаются; 3) «зеленая» – территория безопасна; 4) «белая» – не исследованная территория. В пределах красной зоны строительство запрещено, в пределах желтой – по особому разрешению. Карты составляются на основе первичной информации – исторических данных и следов на местности; они проверяются специальной комиссией, в которую входят представители министерства и строители.

В США работы по оценке потенциальной опасности от оползней и селей вошли в административную и юридическую практику в 1960х го-

дах (Р. Шустер, Б. Лейтон, 1984). Составляются три типа оценочных карт: 1) общего назначения в м-бе 1:12 000–1:62 500; 2) геотехнические карты – в пределах населенных пунктов, для выдачи рекомендаций по защите в м-бе 1:2 400–1:7 200; 3) карты геотехнического характера участков застройки. Считается, что геологическая информация должна быть преобразована в форму, понятную для неспециалистов – архитекторов, юристов, общественных деятелей. Крупномасштабные карты и отчеты геологов используются властями при выдаче разрешений на строительство.

Во Франции, в связи с принятием в 1982 г. закона о страховании от стихийных бедствий, обострилась проблема картирования в крупном масштабе для местных органов управления (М. Арну, 1984). На таких картах, имеющих силу закона, выделяются зоны разной степени опасности. Оптимальный масштаб, выявленный практикой картографирования – 1:5 000.

Как следует из краткого обзора, картографирование селевых явлений развивается во многих странах, имеющих горные территории. В развитых странах основное внимание уделяется картам крупного и детального масштабов, предназначенных для прямого практического использования; отчетливо выражена тенденция к упрощению легенды карт в целях обеспечения их доступности для администраторов и юристов. В России и странах СНГ селевые карты составляются в разных масштабах, однако, большинство изданных карт относится к мелкомасштабным атласным. В настоящее время все более актуальным становится издание среднемасштабных карт, особенно для регионов с развитой инфраструктурой.

При картографировании в основном используются следующие показатели селевых явлений.

1. Максимальный объем выноса, реже – в сочетании с максимальным расходом.
2. Повторяемость (частота схода).
3. Распространенность (коэффициент пораженности, доля площади, занятой селевыми бассейнами, относительная густота селевых русел).
4. Генезис (причина, генезис водной составляющей, генетические типы, согласно классификации).

5. Тип – по гранулометрическому составу, объемному весу, реологическим свойствам.

6. Селевая опасность (активность) – интегральный показатель, включающий характеристики распространенности и максимального объема выноса. Разработаны и другие варианты содержания показателя – см. табл. 2.7 и 2.8.

Выделяются четыре группы селевых карт, различающихся по масштабу, назначению и содержанию (табл. 2.9).

Мелкомасштабные карты – обзорные, научно-справочные, отображающие границы распространения селей, их генезис и раскрывающие существенные различия в степени активности селевого процесса через показатели максимального объема выноса и распространенности явления. Карты средних масштабов – региональные, инвентаризационные, на которых может быть дана характеристика каждого селевого бассейна, в сочетании с кадастром образуют основной справочный массив информации о селевых процессах территории. На крупномасштабных картах представлены детальные сведения о селевых процессах и условиях селеформирования по каждому селевому бассейну. Детальные карты отображают результат зонирования по уровню селевой угрозы на основе натуральных или расчетных данных, преимущественно в пределах селевых конусов выноса или населенных пунктов.

Масштаб и назначение карт определяют различия в способе картографирования принятых показателей. На мелкомасштабных картах оптимально применение синтетического способа, при котором используется интегральный показатель (степень селевой опасности). Карты среднего и крупного масштаба дают возможность использовать комплексный способ картографирования, при котором несколько показателей отображаются раздельно. Это создает дополнительные возможности и для прикладных и для исследовательских целей. На детальных картах в большинстве случаев ограничиваются отображением одного показателя – степени угрозы или разрушительности; такой способ картографирования относится к аналитическим.

Актуальным для дальнейшего развития картографирования селей является закрепление определенной группы показателей селевого про-

Таблица 2.9. Назначение и содержание карт селевых явлений

Масштаб	Назначение	Тип карты по назначению	Основные элементы специального содержания	Важнейшие показатели селевого процесса и способ их картографирования
1:1000000 и мельче (мелький)	Научное: научно-справочная карта. Прикладное: использование при составлении нормативных документов и в учебном процессе ВУЗов	Научно-справочная	Районы, различающиеся по степени опасности и господствующим генетическим типам селей.	Селевая опасность (интегральный показатель, включающий процент площади, занятой селевыми бассейнами и средний максимальный объем выноса твердой составляющей), генезис. Синтетический.
1:200000; 1:500000 (средний)	Прикладное: для составления кадастров и баз данных селевых бассейнов, генсхем инженерной защиты территории, схем районной планировки. Научное: для выявления региональных закономерностей развития селевых процессов, разработки типологии селевых бассейнов.	Инвентаризационная	Селевые бассейны и параметры формирующихся в них селей	Объем выноса твердой составляющей, повторяемость, тип селей, генезис. Комплексный.
1:25000; 1:50000 (крупный)	Прикладное: для разработки проектов хозяйственного освоения территории и мер защиты от селей; для организации мониторинга. Научное: для организации стационаров, изучения прошедших селей катастрофического характера по оставленным следам.	Проектная	Селевые бассейны, параметры селей и условия формирования, важные для решения конкретных прикладных или научно-исследовательских задач.	Объем выноса твердой составляющей, повторяемость, тип селей, генезис. Комплексный.
1:1000- 1:10000 (детальный)	Прикладное: для выделения селеопасных зон и выдачи рекомендаций по защите. Научное: для организации стационаров, изучения прошедших селей катастрофического характера по оставленным следам.	Оценочная	Зоны, различающиеся по уровню селевой угрозы (наблюденные и расчетные), преимущественно в пределах селевого конуса выноса.	Степень разрушительности селевого потока в зоне его воздействия (оценка). Аналитический.

цесса, обязательных для использования в трех основных группах карт (исключая детальные) и при разных способах их картографирования. Это обеспечит преемственность масштабов картографирования с одной стороны и возможность сведения и сопоставления карт – с другой.

2.5. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Количественные характеристики селей необходимы для понимания природы потоков, в частности, для разработки их типологии, для сравнительных характеристик селевых процессов в разных регионах, а также для использования их в расчетах противоселевых сооружений и других способов защиты. Чаще других находят применение следующие характеристики: скорость, уровень, максимальный расход селя, объем выноса твердой составляющей и всего селя, плотность селей и их повторяемость. Кратко рассмотрим диапазон значений параметров и способы определения.

Скорость. Значение скорости селей в большинстве случаев лежит в пределах 1–15 м/с; скорости ультраселевых потоков достигают 60–120 м/с. Скорость селей, как и водных потоков, определяется двумя главными параметрами – уклоном русла и глубиной потока. Соответственно, в небольших селевых бассейнах низко- и среднегорий она значительно меньше, чем в крупных селевых бассейнах высокогорий. Например, в селевых бассейнах Крыма скорость селей составляет 2–4 м/с, в долине р. М. Алматинки (Заилийский Алатау) – 10 м/с.

Поверхностную скорость селей можно измерить поплавками, регистрируя время их прохождения между двумя створами. В качестве поплавков могут быть использованы обломки деревьев и отдельные камни, переносимые селом. Этой же цели может служить портативный прибор «Электроника», разработанный для дистанционного измерения скорости автомобиля. Третий способ прямого измерения поверхностной скорости – киносъёмкой (Руководящий документ..., 1990). Средняя скорость селя меньше поверхностной; в грязекаменных селях она составляет 0,8 поверхностной.

Помимо прямых способов измерения скорости селя существуют расчетные. Например, расчет средней скорости водокаменных селей рекомендуют проводить по формуле:

$$v = 4,5 h^{0,67} i^{0,17},$$

где h – средняя глубина потока, м, i – продольный уклон русла на участке.

Другой упрощенный способ определения скорости связан с предельным размером транспортируемых потоком наносов. Формула имеет вид:

$$v = 4\sqrt{d_{\text{макс}}},$$

где d – линейный размер обломка в метрах, а 4 – среднее значение параметра, учитывающее все другие элементы формулы.

Уровень. Ширина и глубина потока необходимы для расчета габаритов селепропускных сооружений и для определения расхода. Характеристика глубины потока используется также при составлении селевых карт крупного и детального масштабов, когда необходимо отобразить контуры селевых отложений и рельефа нескольких возрастных генераций.

Оценка глубины потока осуществляется через определение уровня селя или высшего селевого горизонта в условиях неразмываемого или слабо размываемого русла. В условиях стационара или измерительного поста используют рейки, самописцы уровня, кино- и видеосъемку. В полевых маршрутах оценить уровень селевого потока помогают следующие признаки: а) для грязекаменных селей – селевые гряды и террасы, обмазка бортов русла, древесных стволов, стен искусственных сооружений селевой суспензией; б) для водокаменных селей – селевые террасы, кайма плавника, отложения песка и гравия; в) для водоснежных потоков – следы корразии, которые присутствуют как на скальных поверхностях, так и на бортах, сложенных рыхлыми отложениями. Во всех случаях уровень селя отмечен деформациями древесной растительности – наклоном стволов, сбитостями, сдиранием коры.

Максимальный расход селя. Расход селя – это объем селевой смеси, проходящей через живое сечение потока в единицу времени, выражается в м³/с. Расход определяется как произведение скорости на площадь живого сечения. Значения расходов селей меняются в широком диапазоне: в мелких селевых бассейнах он измеряется единицами и де-

сятками, в крупных – сотнями и тысячами м³/с. Например, на селевых водотоках Крыма характерный расход составляет 20–40 м³/с, в крупных селевых бассейнах Азербайджана, на склонах Б. Кавказа – 500–800 м³/с. Максимальный расход на р. М. Алматинке был равен 2–10 тыс. м³/с.

Для определения максимальных расходов селей используются прямой и расчетный методы. Определение прямым способом предусматривает выбор в транзитной зоне селевого водотока относительно прямолинейного участка в неразмываемых или слабо размываемых породах. Оценив уровень потока и построив поперечный профиль, определяем площадь живого сечения, а затем и максимальный расход:

$$(Q_c)_{max} = v_c \cdot w,$$

где v_c – среднее значение скорости, м/с, w – площадь живого сечения, м². Существует также сейсмический метод измерения расходов селея.

Расчетные методы определения расходов селея опираются, в частности, на данные о максимальных водных расходах. Приведем в качестве примера уточненную формулу М. Ф. Срибного (Д. Л. Соколовский 1968):

$$Q_{\text{макс. с.}} = Q_{\text{макс. в.}} (1 + \beta) K_{\text{зат.}},$$

где $Q_{\text{макс. с.}}$ – максимальный расход селевого потока, $Q_{\text{макс. в.}}$ – максимальный расход воды, β – объемное содержание наносов в 1 м³ воды, $K_{\text{зат.}}$ – коэффициент заторности. Этот способ расчета может быть использован для дождевых селей с эрозионным механизмом формирования, где размер селей в общем пропорционален размерам водного потока (С. М. Флейшман, 1978).

Объем выноса твердой составляющей и всего селея. Эти характеристики указывают на величину или мощность селей и используются в качестве одного из показателей степени селевой опасности. Знание их величин необходимо для расчета селепропускных и селезадерживающих сооружений. Объем выносов твердой составляющей колеблется от нескольких тысяч м³ в мелких селевых бассейнах склонового типа до нескольких миллионов м³ в крупных селевых бассейнах высокогорий; в ультраселевых потоках он возрастает до 500 млн м³.

Для примерной оценки объема выноса твердой составляющей в полевых условиях нередко ограничиваются обследованием на селевом конусе выноса с использованием полуинструментальной съемки контуров и определением средней толщины свежих селевых отложений в обнажениях и шурфах. Результаты определений в этом случае будут всегда занижены, поскольку остаются неучтенными объемы отложений, вынесенных за пределы конуса выноса и аккумулярованные выше него. Более точный способ определения предусматривает измерение объемов размыва и отложений по всем зонам селевого бассейна по профилям и шурфованием. Суммарный объем всех размывов грунтов должен совпадать с объемом всех отложений; причины возможных несовпадений – вынос мелких фракций за пределы конуса выноса.

Объем всего селя V_c в кубических метрах приближенно может быть вычислен по формуле:

$$V_c = 0,5 (Q_c)_{\text{макс}} T_c,$$

где $Q_{c \text{ макс}}$ – максимальный расход селя, м³/с; T_c – продолжительность селя, с. (Руководящий документ..., 1990).

Плотность селей. Плотность, или объемный вес – это отношение массы тела к занимаемому объему. Плотность селевой смеси лежит в широком диапазоне значений: у селевых паводков она составляет менее 100 кг/м³, у грязекаменных селей достигает 2400–2500 кг/м³. Плотность изменчива и в период схода селя: максимальные значения ее характерны для фронтальной части селевой волны («головы» селя), минимальные – для хвостовой части потока.

Определение плотности селя осуществляется несколькими способами. В условиях стационара применяют отбор проб селевой смеси специальным пробоотборником, подвешенным на тросе (Дончуаньская селевая станция в Китае). Для определения плотности грязекаменных селей был разработан метод, основанный на подборе влажности застывшей селевой суспензии (Руководящий документ..., 1990). Используется также балансовый метод, пригодный для разных типов селей. Сущность его состоит в измерении объемов рыхлообломочных пород, вовлеченных в процесс селеформирования и сопоставлении его с объемом воды, принявшей участие в процессе. Для измерения объемов горных пород

используют профилирование или повторные съемки, для оценки объемов воды – данные об осадках. Развиваются также бесконтактные методы определения плотности селя.

Повторяемость (частота схода) селей служит в качестве одного из показателей при оценке селевой активности как отдельного селевого бассейна, так и для практических целей, например, для расчета времени службы селехранилища. Значения повторяемости меняются очень значительно – от нескольких случаев за сезон до одного раза за 50–100 лет. Сверхредкие ультраселевые потоки формируются один раз в сотни-первые тысячи лет.

Сведения о повторяемости селей содержатся в публикациях и концентрируются в кадастрах селевых бассейнов. При полевых исследованиях они пополняются путем опроса местного населения. При отсутствии данных их можно восполнить используя дендрохронологический метод.

Существуют методы одновременного определения основных характеристик селей в их взаимной увязке. Такой метод, основанный на анализе гидрографа селя, с определением максимального расхода, плотности и объема селя предложил для условий Карпат В. В. Яблонский (1977). При этом, получаемые характеристики увязаны между собой и с данными полевых определений (уклон русла, уровень селя, площадь живого сечения, размеры областей питания и транзита). Сравнение объемов отложений на конусе выноса с расчетными дает отклонение $\pm 10\text{--}25\%$, что допустимо в расчетах селевых потоков.

Детальные характеристики и технологии применяемых методов изучения селей раскрыты в специальных руководствах (Методическое руководство..., 1971; А. В. Садов, 1972; Руководящий документ..., 1990 и др.).

Ударная сила селя. Осредненные значения ее составляют от 5–6 т/м² в мелких селях до 15–30 т/м² и более в очень крупных.

2.6. МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Целью моделирования и натуральных экспериментов является получение количественных характеристик и зависимостей, которые служат для исследования селевого процесса и расчета защитных сооружений. В природных условиях их получение в ряде случаев сложно или прак-

тически исключено. В селеведении используются физическое и математическое моделирование, а также натурный эксперимент – создание искусственных селевых потоков, по масштабу близких к естественным.

Физическое моделирование осуществляется в большинстве случаев на специальных установках – селевых лотках. Устройство лотка и техника эксперимента позволяют видоизменить как свойства селевой смеси, так и параметры лотка (уклон, шероховатость). Физическое моделирование решает две группы задач: 1) задачи, связанные с описанием движения селевых потоков (зависимость скорости от глубины, насыщенности, шероховатости русла и др.); 2) взаимодействие потока с русловыми сооружениями: поведение потока при встрече с сооружением; условия размещения систем запруд; выявление предельных углов поворота направляющих сооружений, обеспечивающих транзитное движение. На селевых лотках проверяются и уточняются формулы, полученные чисто аналитическим путем.

Приведем пример использования физического моделирования для решения одной из задач взаимодействия потока с сооружением, возникающей при проектировании и строительстве селепропускных сооружений. В результате проведенных экспериментов на лотке было установлено, что отклонения продольной оси линейной конструкции от нормали к динамической оси пропускаемого потока не могут превышать $8-15^\circ$ в зависимости от степени насыщения потока твердым материалом. При строительстве селеспусков над Ферганским каналом направляющие конструкции были спроектированы с резким переломом в плане; угол между осью конструкции и динамической осью потока достигал 45° . При сходе селей часть этих «узлов поворота» была разрушена, около других произошло скопление обломочных масс; в обоих случаях имели место переливы селевой смеси в канал (С. М. Флейшман, 1978). Результаты физического моделирования и опыт эксплуатации селепропускных сооружений нашли отражение в последующих руководствах по проектированию защитных сооружений: «продольную ось селепропускных сооружений необходимо совмещать с динамической осью потока; при необходимости поворота сооружения угол между осями должен приниматься не более 8° »; «входной участок

селепропускных сооружений рекомендуется ориентировать в плане таким образом, чтобы угол установки сопрягающих стенок по отношению к оси главного русла не превышал 11° » (Инженерная защита..., 1991, с. 8).

Математическое моделирование используется в селеведении главным образом для возможности расчета селевых потоков и получения основных количественных характеристик. Приведем в качестве примера результаты моделирования водоснежных потоков. А. Н. Божинским и А. Н. Назаровым (1998) была предложена двухслойная модель водоснежного потока. Это математическая модель гидравлического типа, когда все динамические характеристики по поперечному сечению осреднены. Двухфазный водоснежный поток в первом приближении заменен взаимодействием двух слоев – воды и смесью воды и снега. Учитывается вовлечение новых масс снега в поток. Модель позволяет рассчитать все основные динамические характеристики водоснежного потока: глубину, скорость, плотность, давление на препятствие. С использованием предложенной модели была проведена серия численных экспериментов (А. Н. Божинский, А. Н. Назаров, В. Н. Сапунов, 2002). Сильное влияние на характеристики потока оказывают коэффициент сухого трения и интенсивность притока воды на его «хвосте». Получены характеристики длины зоны отложений, максимальной толщины и объема отложений, времени движения. Значения толщины отложений оказались несколько завышенными по сравнению с наблюдаемыми в натуре; длина зоны отложений находится в пределах наблюдаемых значений.

Натурный эксперимент. Под натурным экспериментом понимается организация искусственных селевых потоков в естественных условиях, когда параметры искусственных селей близки к природным. Целями натурного эксперимента служат: проверка зависимостей, полученных путем моделирования; испытание новой измерительной аппаратуры; получение параметров, необходимых для расчетов (например, сила удара о препятствие); исследование динамики потока. Известен лишь один район, где натурные эксперименты были осуществлены – бассейн р. Чемолган в Заилийском Алатау (Казахстан). Полигон для проведения эксперимента был выбран и подготовлен сотрудниками КазНИГМИ под руководством Ю. Б. Виноградова (Ю. Б. Виноградов, 1980). В есте-

ственном понижении было создано водохранилище объемом 20 тыс. м³, ниже которого расположен селевой очаг в форме вреза в древнюю морену. Попуски воды из водохранилища через регулируемый затвор обеспечивали формирование селей. За 1972–1991 гг. было проведено 6 экспериментов. Объем пусков воды – от 2 до 10 тыс. м³, продолжительность – от 2 до 10 мин. Параметры искусственных селей составили: скорость – от 2 до 10 м/с, максимальный расход – от 100 до 400 м³/с, глубина потока в зоне транзита 2,5 м, высота фронта 5–6 м. Параметры эти соответствуют средним значениям природных селей.

Отметим некоторые результаты проведенных экспериментов. Подтверждено представление о многократном превышении объема и максимального расхода сформировавшегося потока над параметрами исходного водного потока; например, максимальный расход их составил соответственно, 110 и 16 м³/с. Выявлена пульсация скорости и расхода в селевом очаге, которая приводит к образованию селевых волн без участия затворов. Таким образом, несмотря на гладкий гидрограф водного пускa селевой поток при возникновении генерирует селевые волны. Это означает, что волнообразование присуще самой динамике процесса, а не связано с прорывом затворов и другими внешними причинами.

Мощная стальная конструкция с датчиком давления, основание которой было забетонировано в гранитной скале, не смогла противостоять ударному воздействию селя. Этот факт еще раз подтвердил необходимость разработки бесконтактных методов измерений.

Результаты экспериментов послужили толчком для дальнейшего развития механики селей.

глава третья

ГЕОГРАФИЯ СЕЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Накопление информации о селевых процессах в форме публикаций, кадастров, карт приводит на определенном этапе к необходимости их анализа и обобщения. Цель такого анализа в географическом отношении – выявление качественных и количественных различий селевого процесса в пространстве и выявление причин этих различий. Если подобный анализ носит комплексный характер: охватывает все главные факторы селеформирования он, вместе с обобщением фактического материала, служит основой для районирования селеопасных территорий. Рассмотрим анализ факторов селеформирования и районирование селеопасных территорий на примере территории бывшего СССР.

3.1. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ СЕЛЕФОРМИРОВАНИЯ

Факторы селеформирования в целом были раскрыты в разделе 1.1. Выбор факторов определяется масштабом и целями исследования. Учитывая мелкомасштабный (межрегиональный) уровень анализа, набор факторов должен быть по возможности полным, а показатели их – носить обобщающий (интегральный) характер. Первому требованию отвечает группировка факторов экзогенного рельефообразования, предложенная А. П. Дедковым (1983). Расшифровка ее в отношении селевых явлений представлена в табл. 3.1.

Второму требованию в наибольшей степени соответствует метод оценочного районирования. Примеры его использования можно найти в исследованиях эрозионных процессов (Районирование территории..., 1965) и селевых явлений (Селеопасные районы..., 1976) на территории СССР. Высокая значимость и самостоятельный характер оценочного районирования утверждаются в инженерной геологии (Теоретические основы..., 1985).

Выбор показателей определяется с одной стороны наличием прямых причинных связей с формированием селей, с другой – реальностью получения количественных и качественных характеристик. Последнее

диктует, прежде всего, использование имеющихся картографических материалов и разработок. Для оценки показателей использована балльная система (по степени благоприятности развитию селевого процесса). Шкала оценок простейшая, трехступенчатая, что соответствует уровню изученности селей и целям районирования в мелком (обзорном) масштабе.

Оценочное районирование реализовано в отношении всех основных факторов: климатических условий, почвенно-растительного покрова, рельефа, литологического фактора, фактора времени, антропогенного.

Таблица 3.1. Связь факторов экзогенного рельефообразования с показателями селевого процесса

Факторы или их группы	Что определяют в первую очередь в отношении селевого процесса
Климато-ландшафтные (климат, современное оледенение, многолетняя мерзлота, почвенно-растительный покров)	Зональность селей и селеопасный период
Тектоно-геоморфологические (рельеф, неотектоника, сейсмичность, вулканизм)	Мощность селей (объемы выносов)
Литологический	Вещественный состав селей и повторяемость
Антропогенный	Активизация селевого процесса
Фактор времени	Степень селевой активности

Климатические условия. Для характеристики климата обширных территорий существенны зональные различия. Именно эти различия сказываются в первую очередь на смене господствующих экзогенных процессов, включая селевые. В первой типизации климатов с позиции геоморфологии, созданной А. Пенком и развитой позднее И. С. Шукиным (1960) выделены три главных типа – нивальный, гумидный, аридный. Зональные типы климата – уже на расчетной основе – выделяются на карте климатического районирования СССР А. А. Григорьева и М. И. Будыко (Физико-географический атлас мира, 1964). Критериями районирования служили индекс сухости (отношение комплексной испаряемости к осадкам) и термические условия теплого периода. По условиям увлажнения выделено четыре зоны: избыточно влажная, влажная, недостаточно

влажная, сухая; по термическим условиям периода пять зон: очень холодная, холодная, умеренно теплая, теплая, очень теплая. Границы зон хорошо коррелируют с границами геоботанических областей.

Общая оценка климатических условий селеформирования основана на использовании схемы районирования А. А. Григорьева и М. И. Будыко и климатических показателей: годовая сумма осадков, степень неравномерности годового хода осадков, суточный слой осадков 1% обеспеченности. Вся территория страны разделена на три зоны: I – холодная, избыточно влажная (тундра, арктические пустыни); II – умеренно теплая, влажная (леса); III – теплая, сухая (степи и пустыни). По условиям формирования стока и селевых потоков выявленные зоны – качественно различные территории, в которых роль климатических показателей неоднозначна. Это определяется уже сменой господствующих генетических типов селей: в зоне I преобладают снеговые сели, в зонах II и III – дождевые. Соответственно, в зоне I наиболее важной климатической характеристикой будет характер весны, в зоне II – степень неравномерности хода осадков, в зоне III – уровень общей увлажненности.

Для выявления климатических различий в пределах сухой зоны использовано сочетание двух показателей: в качестве главного – годовой суммы осадков, дополнительного – суточного слоя осадков 1% обеспеченности. Балльная оценка основного и дополнительного показателей различаются вдвое (табл. 3.2). Наиболее благоприятный для селеформирования климатический фон в пределах сухой зоны имеют возвышенные западные и центральные части Памиро-Алая и Тянь-Шаня (рис. 3.1).

Таблица 3.2. Климатические показатели, их группировка и оценка в баллах

Годовая сумма осадков, мм	Степень неравномерности годового хода осадков, %	Суточный слой осадков 1% обеспеченности, мм	Баллы
> 800	40–50	125–150	3 (8)
500–700	30–40	75–100	2 (4)
200–400	20–30	30–50	1 (2)

Повышенная увлажненность их связана, помимо абсолютных высот, с барьерным эффектом в условиях господства западного переноса воздушных масс.

В зоне влажного и умеренно теплого климата в качестве главного показателя дифференциации климатических условий принята степень неравномерности годового хода осадков, в качестве дополнительного – суточный слой осадков 1% обеспеченности. Неравномерность осадков выражена через отношение их месячной нормы к годовой и принята согласно схеме Ц. А. Швер (1976). Наиболее благоприятный для селеобразования регион в пределах зоны образуют горные области Южной Сибири и Дальнего Востока – районы с резко континентальным климатом.

В зоне холодной, избыточно-влажной господствуют снеговые сели. Для характеристики условий их формирования важен не режим жидких осадков, а состояние снежного покрова и характер снеготаяния. В пределах зоны выделяется подзона с очень холодным (арктическим) климатом (Таймыр и арктические острова), где недостаток тепла не обеспечивает регулярного достаточно интенсивного весеннего снеготаяния, создает наименее благоприятные условия формирования снеговых селей. Горы Субарктики образуют два региона, качественно отличные по условиям формирования водоснежных потоков. Западный, включающий горы Кольского полуострова, Полярного и Приполярного Урала, характеризуется климатом, переходным к морскому и континентальным, восточный (плато Путорана и горы Северо-Востока) – климатом самым континентальным и резко континентальным (А. А. Борисов, 1970). Различия в степени континентальности определяют качественные различия в развитии снежной толщи и характере весны (В. Ф. Перов, Т. Л. Сидорова, 1988). В западном регионе к началу снеготаяния плотность снежного покрова вдвое выше, а строение его неоднородно, что ухудшает условия промачивания и отрыва пласта; продолжительность снеготаяния здесь втрое длиннее: интенсивность его ниже. Эти различия реализуются в режиме снеговых селей: в восточном регионе они сходят вдвое чаще. Таким образом, к наиболее благоприятным для формирования селей по климатическим условиям в пределах зоны относятся горы восточной половины Субарктики.

Помимо господствующих генетических типов селей зонального класса и общего фона – менее или более благоприятного для образования селей – климатические условия определяют и календарные сроки селеопасного периода. В условиях теплого климата Карпат и Крыма селепроявления возможны практически в течение всего года. В аридном климате Средней Азии, с его зимневесенним максимумом осадков характерны сели весеннего периода. В условиях континентального климата Южной Сибири селеопасный период приходится на лето, в области влияния муссонов на юге Дальнего Востока – на вторую половину лета – начало осени.

Почвенно-растительный покров. Состояние и структура почвенно-растительного покрова на склонах гор оказывает прямое влияние на режим и параметры стока, а через него – на условия селеформирования. Особенно велика регулирующая и противоэрозионная роль лесных ландшафтов (см. раздел 1.1). Изменение лесистости или уничтожение лесного покрова в горах неминуемо сказывается на активности селевых процессов. Такое усиление селевых процессов наблюдалось в недавнем прошлом в Карпатах и сохраняется в наши дни на Сахалине. Уровень залесенности гор является одним из факторов формирования селевых потоков. Простейшим способом оценки относительной роли этого фактора на межрегиональном уровне может служить соотношение лесных и безлесных ландшафтов, – величин их протяженности по вертикали. К безлесным ландшафтам отнесены субнивальные, горно-тундровые, луговые, степные, полупустынные, к лесным – кроме собственно лесных сообществ – криволесья, стланики, субальпийские кустарники, близкие к ним в противоэрозионном отношении. В горах со сложной поясностью значения протяженности безлесных ландшафтов выше и ниже лесного пояса суммировались (рис. 3.2).

Господство безлесных ландшафтов, более благоприятных для селеформирования, характерно для горных районов с аридным климатом – восточного Кавказа и Закавказья, Копетдага, Памиро-Алая и Тянь-Шаня и для горных районов Субарктики. Почти полностью залесенные горы лежат в области океанического и переходного к морскому климата, –

Таблица 3.3. Морфометрические показатели, их группировки и оценка в баллах

Глубина расчленения		Густота расчленения	
метры	баллы	км/км ²	баллы
1000 и более	8	0,8 и более	3
600–900	4	0,6–0,7	2
300–500	2	0,5 и менее	1

в восточной и западной оконечностях умеренной зоны (о. Сахалин, хр. Сихоте-Алинь, Карпаты).

Рельеф. Горный рельеф – необходимое условие развития селевых процессов. С ростом высоты и крутизны склонов растет скорость денудации, а также максимальный расход и объем выносов селей. Более благоприятные условия создает и дробное расчленение гор.

Основными морфометрическими показателями рельефа служат глубина и густота расчленения. Для характеристики глубины расчленения были использованы данные по относительной высоте геоморфологических районов (Геоморфологическое районирование..., 1980). Они были дополнены сведениями из других источников (Лавиноопасные районы..., 1970; Карта оценки..., 1971 и др.). На этой основе составлена промежуточная карта оценки глубины расчленения. Густота расчленения рельефа охарактеризована по данным Карты густоты речной сети (А. П. Доманицкий, Р. Г. Дубровина, А. И. Исаева, 1971).

Для составления синтетической карты приняты градации показателей и их оценка в баллах (табл. 3.3).

Удвоение балльной оценки глубины расчленения объясняется более высокой значимостью показателя в селевом процессе. Выделение ступеней по глубине расчленения связано с принятой у ряда авторов границей между слабым, средним и глубоким расчленением, – соответственно 500 и 1000 м (И. С. Подобедов, 1954; Д. А. Лилиенберг, Д. А. Тимофеев, 1963; А. И. Спиридонов, 1975). Две промежуточные карты – глубины и густоты расчленения рельефа – объединены в одну – морфометрической оценки горных областей (рис. 3.3).

На ней выделены три группы горных стран, различающиеся по степени благоприятности для развития селевых процессов. В группу наиболее благоприятных вошли Б. Кавказ, Памиро-Алай, Тянь-Шань, Джунгарский Алатау, Восточный Саян, Хамар-Дабан, Становое нагорье. Области эти характеризуются активной селевой деятельностью.

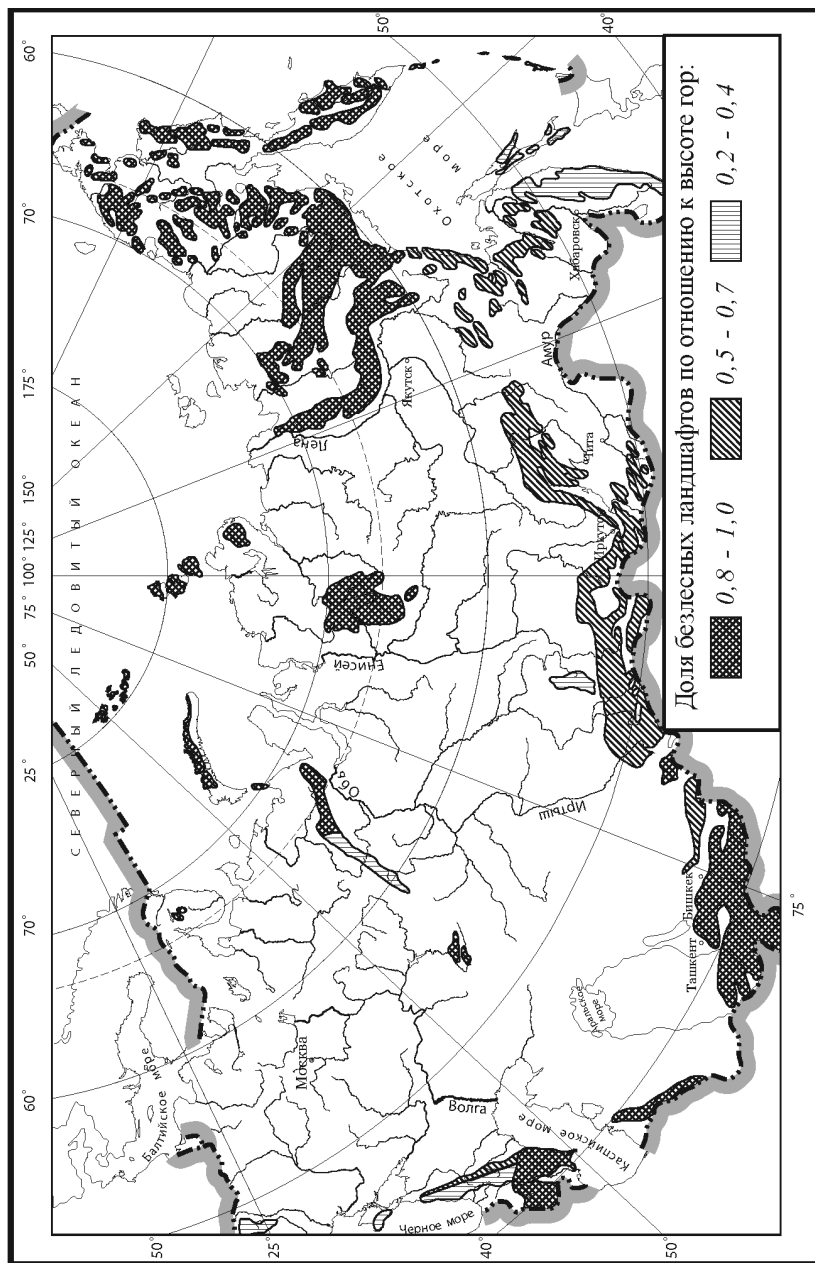


Рис. 3.2. Оценка растительного покрова как фактора селеформирования на территории бывшего СССР (авторы: В. Ф. Перов, О. И. Бударина)

Литологический фактор. Значение состава горных пород в процессах селеформирования рассмотрено в разделе 1.1. В целом магматические горные породы наименее благоприятны для формирования твердой составляющей селей, осадочные сцементированные – более благоприятны и осадочные несцементированные (рыхлые) – наиболее благоприятны. Оценка литологических условий реализована на основе инженерно-геологической карты СССР м-ба 1:7,5 млн (Атлас гидрогеологических..., 1983). Критерием оценки служило господство или преобладание в пределах горных стран пород тех или иных групп (рис. 3.4).

Области с преобладанием наиболее легко разрушаемых терригенных пород ограничены Карпатами и Сахалином, тогда как большинство горных стран сложено скальными породами. Промежуточное положение занимают горы, лежащие в поясе альпийской складчатости, – Крым, Б. Кавказ, Копетдаг, Гиссаро-Алай. Средней степенью благоприятности оценены и хребты, сложенные терригенными породами, но расположенные в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород – Верхоянский, Сетте-Дабан, Бырранга.

Фактор времени. Развитие селевых явлений как одного из экзогенных процессов следует рассматривать в связи с этапами развития рельефа и осадконакопления.

В целях дифференцированной оценки фактора времени или палеогеоморфологических условий селеформирования на территории страны были использованы два показателя: значения неотектонических поднятий и возраст рельефа. С первым прямо связана высота гор – интенсивность денудации и врезания рек, со вторым – уровень активности («напряженности») селевого процесса, поскольку все экзогенные процессы затухают во времени при устойчивых внешних условиях. Оба показателя – величина поднятий и возраст рельефа – дополняют друг друга, определяя облик современного рельефа.

Данные о величине поднятий за новейший этап развития приняты согласно «Карте новейшей тектоники СССР и сопредельных областей» (1985). Для оценки возраста использована характеристика «времени основного становления рельефа» на «Карте происхождения главнейших элементов рельефа современной земной поверхности на территории СССР и при-

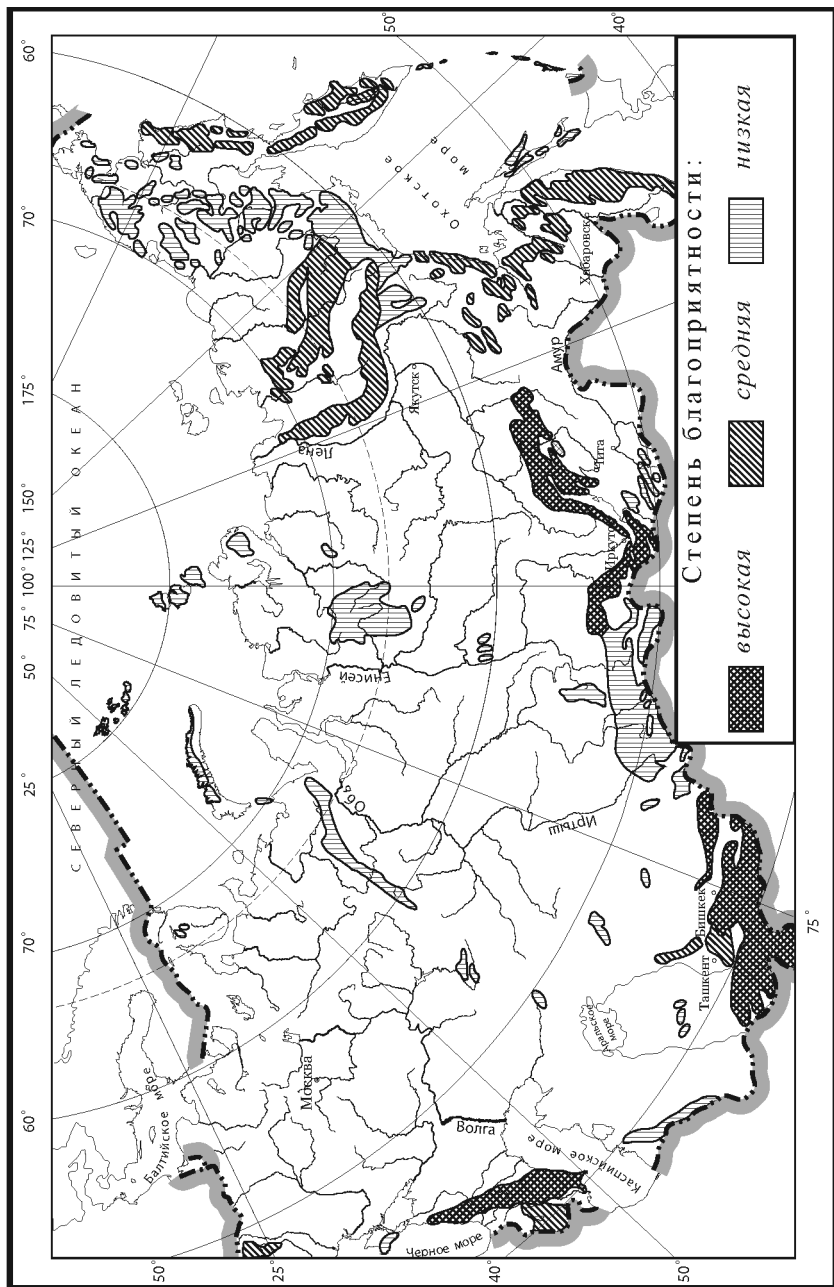


Рис. 3.3. Оценка рельефа как фактора селеформирования на территории бывшего СССР (автор В. Ф. Перов)

легающих морях» (Палеогеоморфологический атлас СССР, 1983). Интегральная оценка их представлена в виде схематической карты (рис. 3.5), группировки показателей и их балльная оценка раскрыта в табл. 3.4.

Наиболее благоприятными унаследованными условиями для развития селевых процессов отличаются горные сооружения Б. и М. Кавказа, Копетдага, Памиро-Алая, Тянь-Шаня, Станового нагорья.

Антропогенный фактор. Воздействие хозяйственной деятельности на селевой процесс носит прямой или опосредованный характер. Пример первого – складирование отвалов горных выработок, размыв и оползание которых порождает селевой поток. Пример опосредованного воздействия – сведение горных лесов, которое приводит к возрастанию неравномерности стока, усилению эрозии и формированию селей. В первом случае мы имеем дело с антропогенными (техногенными) селями, во втором – с природно-антропогенными. Изучение влияния хозяйственной деятельности на ход селевого процесса (В. Ф. Перов, 1992)

Таблица 3.4. Палеогеоморфологические показатели, их группировки и оценка в баллах

Величина поднятий за новейший этап развития		Время основного становления рельефа	
метры	баллы	периоды	баллы
> 2000	8	Неоген (10–20 млн. лет)	3
1000–1500	4	Палеоген (30–60 млн. лет)	2
< 1000	2	Мел (70–130 млн. лет)	1

позволило выявить особенности антропогенного типа селей и осуществить качественную оценку антропогенного фактора.

В пределах умеренной и субтропической зон, где господствуют дождевые сели, антропогенный фактор в их развитии проявляется практически повсеместно. Выделяются горные области, где антропогенная активизация носит региональный характер, и области с отдельными участками локального селепроявления. Области регионального антропогенного воздействия – в зависимости от степени активизации – разделены на три группы. Наиболее высокой степенью характеризуются районы низкогорий и частично – среднегорий аридной зоны с длительным (историческим) освоением – Закавказье, Копетдаг, низко- и

среднегорья Памиро-Алая и Тянь-Шаня. Это районы сильно измененных (нарушенных) ландшафтов и сформировавшегося в новых условиях измененного селевого режима. Средней степенью активизации характеризуются некоторые районы гумидной зоны современного этапа освоения, – Карпаты, о-в Сахалин. Изменения ландшафтов носят здесь обратимый характер, а селевой режим неустойчив. К районам низкой степени активизации отнесены горные области, в которых под воздействием антропогенной нагрузки формируется редкая сеть элементарных (склоновых) селевых бассейнов. Выявленные различия отражены на схематической карте (рис. 3.6).

Селевые потоки районов высокой антропогенной активизации характеризуются повышенной повторяемостью и низкой плотностью; чаще всего их можно квалифицировать как селевые паводки. Селевые потоки локального проявления отличаются разнообразием режима и масштабности. Часть из них в течение последних десятилетий формируется в полугорных и равнинных условиях вне области развития селевых явлений природного генезиса.

Заключение. Балльная оценка основных факторов селеформирования дает возможность получить общую (интегральную) оценку условий развития селевых процессов по основным горным областям путем суммирования. Относительная значимость показателей принята одинаковой. Результаты сведены в табл. 3.5.

В целом данные табл. 3.5 вполне удовлетворительно согласуются с картиной активности на карте селевых явлений: с уменьшением суммы баллов падает и уровень селевой активности. В пределах теплой селевой зоны (с господством дождевых селей) высокая активность селевых процессов характерна для горных областей с суммой баллов 11–15, средняя – с суммой баллов 9–10 и низкая – с суммой баллов 5–8. В пределах холодной селевой зоны (с господством снеговых селей) соответствующие группировки характеризуются суммой баллов 9–12, 8 и 7.

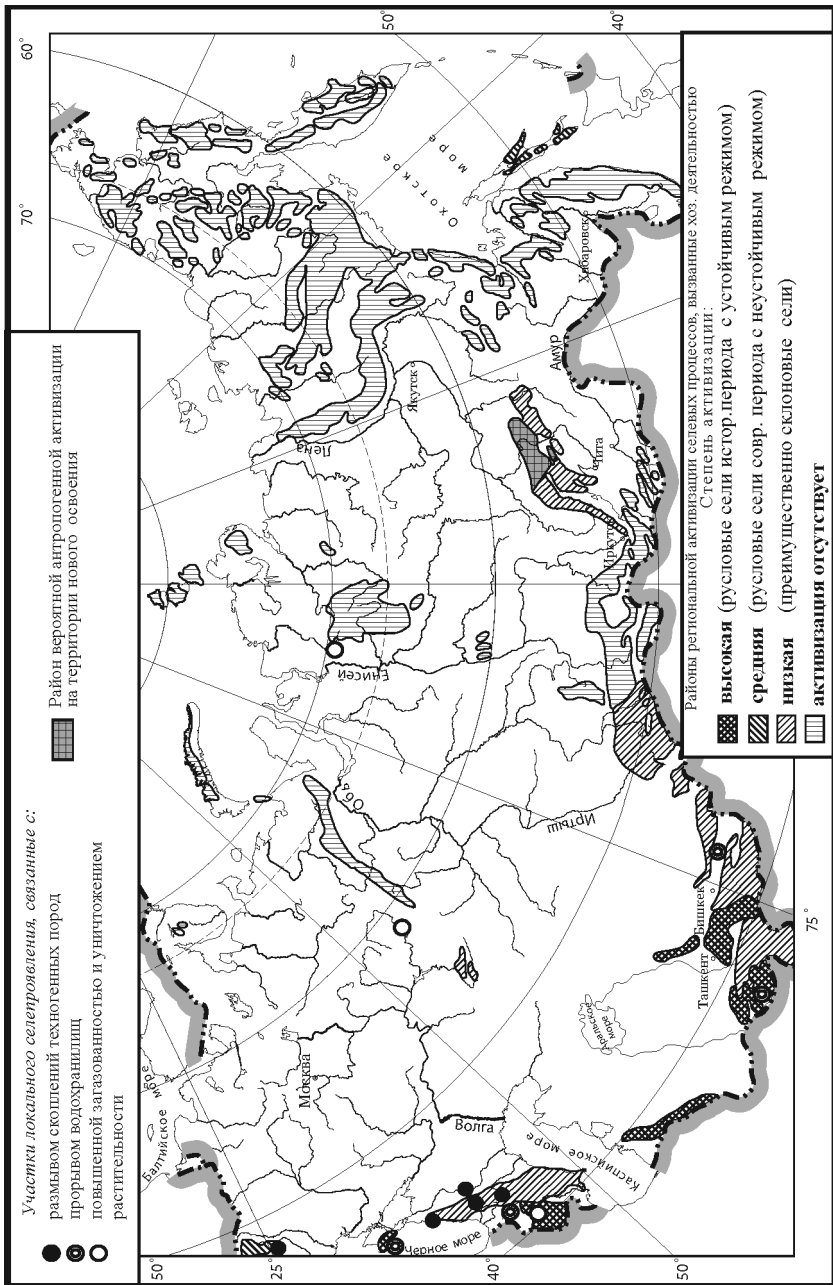


Рис. 3.6. Оценка антропогенного фактора развития селевых процессов на территории бывшего СССР (автор В. Ф. Перов)

Таблица 3.5. Суммарная оценка (в баллах) условий селеформирования

Сумма баллов	Горные области
<u>Теплая зона</u>	
15	Памиро-Алай и Тянь-Шань (от 13 до 16 бал.)
14	М. Кавказ
13	Копетдаг, Становое нагорье, Б. Кавказ (12–13 бал.)
12	Джунгарский Алатау
11	Восточный Саян, Хамар-Дабан
10	Карпаты, Тарбагатай, горы Забайкалья (юг) и Приамурья, Сихоте-Алинь, горы о-ва Сахалин
9	Крымские горы, Западный Саян, Джугджур
8	Алтай, Южный Урал, Камчатка
5	Северный Урал
<u>Холодная зона</u>	
12	Верхоянский хр.
11	Нагорье Черского
10	Сунтар-Хаята, горы бассейна Колымы и Чукотки
9	Путорана, Корякский хр.
8	Горы Кольского п-ова, Полярный Урал, Бырранга
7	Арктические острова

Отдельные несоответствия объясняются мелким масштабом оценочного районирования (осреднение показателей по крупным областям, трехступенчатая шкала оценки), и средним уровнем достоверности карты.

Отметим основные итоги анализа

факторов селеформирования методом оценочного районирования.

1. Подтверждены основные особенности пространственно-временной изменчивости селевых явлений на территории страны, выявленные в результате полевых работ и обобщения имеющегося фактического материала на карте селей. Тем самым эти особенности приобретают характер закономерных.

2. Картографическая форма отображения результатов анализа создает вместе с картой селевых явлений основу для районирования селеопасных территорий страны.

3.2. РАЙОНИРОВАНИЕ СЕЛЕОПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Обобщение результатов изучения селевых процессов и анализ факторов селеформирования на территории бывшего СССР создают необходимую основу для районирования селеопасных территорий (В. Ф. Перов, 1989). Районирование широко распространенного стихийно-

разрушительного процесса, каким является селевой важно само по себе; в условиях огромной территории и большого разнообразия типов селевых потоков оно становится необходимым. Районирование превращает набор сведений в закономерную картину пространственно-временного развития процесса. Оно создает основу для выводов о тенденциях развития, организации мониторинга, для разработки регионального прогноза и обоснования системы мер защиты от селей.

Главными характеристиками, использованными при районировании, служат генетические типы селей, селевой режим, масштабы селевых явлений. Территории, где показатели сравнительно однородны, где можно говорить о господствующих генетических типах селей или о типах селевого режима, о характерных параметрах селевых потоков, образуют основу (ядра) в сетке районирования. Единство, однородность или господство названных показателей составляет основной принцип предлагаемого районирования. При этом практически во всех случаях сохранялась цельность горных стран или систем.

Существующий к настоящему времени уровень изученности вынуждает при разделении селеопасных территорий ограничиться высшими таксономическими единицами районирования – зонами, регионами, областями.

В основе выделения *зон селевой деятельности* лежит широтная географическая зональность. Все селеактивные территории СССР можно разделить на две зоны – теплую и холодную. Первую образуют горные районы, лежащие в пределах умеренного и субтропического климатических поясов, в которых господствуют селевые потоки дождевого генезиса. Холодная зона охватывает горные районы Субарктики и Арктики, где господствуют снеговые сели. К качественному различию селевых процессов в двух зонах приводят различия всего комплекса природных условий; помимо общеклиматических факторов велика роль многолетнемерзлых пород – их наличие или отсутствие.

Зоны селевой деятельности разделены на *регионы*, которые различаются, главным образом, селевым режимом. Поскольку селевой режим крупных территорий определяется в первую очередь особенностями климата, выделение регионов основано на смене его основных типов

Таблица 3.6. Районирование селеопасных территорий бывшего СССР

Зоны	Регионы	Области
I. Теплая	А. Европейский	1. Карпатская 2. Крымская 3. Кавказская 4. Закавказская 5. Южноуральская
	Б. Среднеазиатский	6. Копетдагская 7. Памиро-Тяньшанская 8. Область низкогорий аридной зоны
	В. Южносибирский	9. Алтайская 10. Байкальская
	Г. Тихоокеанский	11. Амурская 12. Сахалинская 13. Камчатская
II. Холодная	Д. Западный	14. Кольская 15. Полярноуральская
	Е. Восточный	16. Пutorанская 17. Верхоянская 18. Колымско-Чукотская
	Ж. Арктический	19. Таймырская 20. Полярно-Островная

в пределах зон. Особенно важен в данном случае учет степени континентальности климата и районов воздействия воздушных масс, определяющих уровень и режим увлажнения.

Разделение регионов на области основано на учете различий в параметрах селевых потоков, густоте сети селевых русел, наборе генетических типов селей. Эти характеристики отражают особен-

ности селевой деятельности, присущие каждой горной стране или группам горных стран, и определяются, главным образом, особенностями рельефа и геологического строения.

Вся селеактивная территория бывшего СССР разделена на 2 зоны, 7 регионов и 20 областей (табл. 3.6, 3.7).

Названия регионов определяются их географическим положением, названия областей – названиями главенствующих горных хребтов, названиями крупных рек и озер, бассейны которых объединяют группы хребтов, или также географическим положением. Остановимся на краткой характеристике выделенных зон и регионов с целью подчеркнуть главные пространственные различия в ходе селевого процесса.

Единицы районирования			Площадь селео- пасной террито- рии, тыс. км2	Доля площадей разной степени опасности, %%		
Зоны	Регионы	Области		высокая	средняя	
1	2	3	4	5	6	
Теплая	Европей- ский	Карпатская	20,5	6,2	31,8	
		Крымская	4,4	–	37,7	
		Кавказская	128,7	20,6	26,8	
		Закавказская	53,7	12,3	24,7	
		Южноуральская	20,7	–	30,1	
	Среднеази- атский	Копетдагская	33,8	49,6	40,4	
		Памиро- Тяньшаньская	335,1	34,6	35,0	
		Область низко- горий аридной зоны	4,7	–	–	
	Южноси- бирский	Алтайская	295,7	–	1,2	
		Байкальская	270,8	21,6	38,6	
	Тихоокеан- ский	Амурская	219,4	–	17,5	
		Сахалинская	19,0	–	15,4	
Камчатская		87,2	7,9	35,3		
Холодная	Западный	Кольская	4,4	–	66,0	
		Полярно- уральская	39,9	16,8	61,9	
	Восточный	Путоранская	136,7	6,6	39,2	
		Верхоянская	296,1	10,9	1,0	
		Колымско- Чукотская	220,5	1,1	38,6	
	Арктиче- ский	Таймырская	13,4	–	–	
		Островная	12,7	–	–	

Таблица 3.7. Режим и опасность селей (по областям районирования)

		Селеопасный период		Период наибольшей селевой опасности (более 50% случаев схода)	
низкая	потенц.	Календар. сроки, (мес.)	Продолжит., мес.	Календар. сроки, мес	Продол., мес.
7	8	9	10	11	12
62,0	–	I-XII	12	VI-VIII	3
34,8	27,5	I-XII	12	VI-VIII	3
48,8	3,8	IV-X	7	VII-VIII	2
39,0	24,0	II-IX	8	VI-VII	2
65,9	4,0	V-X	6	VI-VII	2
–	10,0	I-XII	12	IV-V	2
23,3	7,1	I-XII	12	III-VI	4 (низко-и среднегор.)
10,0	–	–	–	VII-VIII	2 (высокогор.)
19,8	79,0	IV-VIII	5	VI-VII	2
30,0	9,8	V-VIII	4	VII-VIII	2
51,4	31,1	VI-IX	4	VII-VIII	2
33,9	50,7	VI-X	5	VIII-IX	2
51,8	5,0	VI-X	5	VII-VIII	2 (ДОЖДА)
34,0	–	V-VIII	4	V-VI	2
21,3	–	V-VIII	4	V-VI	2
54,2	–	V-VIII	4	V-VI	2
88,1	–	V-VIII	4	V-VI	2
60,3	–	V-VIII	4	V-VI	2
100,0	–	VI-VIII	3	VI-VII	2
100,0	–	VI-VIII	3	VI-VII	2

I. Теплая зона. Для нее характерны: положительная годовая температура воздуха, отсутствие или ограниченное развитие многолетне-мерзлых пород, длинное теплое лето с ливнями и затяжными дождями, господство лесных и степных ландшафтов в низких и средних горах, широкое развитие всех форм эрозии и склоновых гравитационных процессов. Господство дождевых селей здесь обеспечивается как климатическим режимом (длинный теплый период с ливнями) так и состоянием подстилающей поверхности (подвижность, неустойчивость приповерхностных горизонтов горных пород и, как следствие, – активность эрозионных и склоновых гравитационных процессов). Теплую зону образуют регионы Европейский, Среднеазиатский, Южносибирский, Тихоокеанский.

А. Европейский регион: Карпаты, Крымские горы, Большой Кавказ, Закавказское нагорье, Северный и Южный Урал. Их объединяет положение в области преимущественного влияния западного (Атлантического) переноса воздушных масс. Климат региона умеренно-континентальный или переходный от морского к континентальному (Карпаты). Показатели увлажненности различны в разных горных странах: в Карпатах климат влажный, в Крыму – недостаточно влажный, в Восточном Закавказье – сухой. Также в субширотном направлении – с запада на восток – падает увлажненность в пределах каждой горной страны. Относительно мягкий климат предопределяет большую длительность селеопасного периода. Во многих районах сели возможны в течение всего года (Карпаты, Крым), в других – в течение всего теплого периода и лишь в высокогорьях – в июле, августе. Наиболее мощные сели образуются в высокогорной зоне Б. Кавказа. В связи с высокой освоенностью территории во всех областях региона отмечены сели антропогенного генезиса. В пределах Европейского региона выделено пять селевых областей: Карпатская, Крымская, Кавказская, Закавказская, Южноуральская.

Б. Среднеазиатский регион: Копетдаг, Памиро-Алай, Тянь-Шань, Джунгарский Алатау, низкогорные массивы пустынной и степной зон. Климат резко континентальный, сухой. Дождевые сели в низко- и среднегорьях возможны с марта по август, однако основная масса их сходит весной, в апреле–мае, в период наибольшего увлажнения тер-

ритории. В ледниковых высокогорьях в июле–августе формируются мощные селевые потоки ледникового и дождевого генезиса. В низко- и среднегорьях селевые процессы активизированы последствиями длительной нерациональной эксплуатации территории. По различиям в масштабах и разнообразии типов селевых явлений в пределах региона выделено три области – Копетдагская, Памиро-Тяньшанская и область низкогорий аридной зоны.

В. *Южносибирский регион*: Алтае-Саянская горная страна, хребет Хамар-Дабан, южное Забайкалье, Становое нагорье. Климат региона, в связи с внутриконтинентальным положением, самый континентальный, с умеренным увлажнением и умеренно суровой зимой. Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение на севере региона, – в хребтах Станового нагорья и прерывистое и островное на остальной территории. Дождевые сели повсеместны, возможны с апреля по август; снеговые распространены ограниченно (в северной части), сходят в начале лета. Селевые процессы активизированы в хребтах Байкальской рифтовой зоны и ослаблены на остальной территории. По различиям в уровнях селевой активности выделяются две области, – Алтайская и Байкальская.

Г. *Тихоокеанский регион*: хребты Становой, Джугджур, Сихоте-Алинь, система хребтов бассейна р. Амур, острова Сахалин, полуострова Камчатка. Климат региона, формирующийся под воздействием Тихого океана, влажный, муссонный и, одновременно, резко континентальный. Селеопасный период продолжается с июня по октябрь; массовый сход дождевых селей, связанный с тайфунами, приходится на конец лета – начало осени. На Камчатке характерны грандиозные вулканогенные сели; в северной части полуострова и на северном склоне Станового хребта преобладают снеговые. По различиям в типах и масштабах селепроявлений, в степени хозяйственного воздействия на селевой процесс в пределах региона выделено три области, – Амурская, Сахалинская, Камчатская.

II. **Холодная зона.** Для нее характерны: отрицательные годовая температура воздуха, многолетняя мерзлота грунта, короткое прохладное лето с редкими ливнями, господство горнотундровых ландшафтов. В круговороте воды высок удельный вес твердой фазы, что демонстри-

руют ледники, лежащие на низких отметках, обилие наледей, снежников, повсеместное распространение снежных лавин. Условия для развития русловых селей дождевого генезиса ограничены как климатическим режимом (короткое лето с редкими ливнями), так и состоянием подстилающей поверхности (грунт скован мерзлотой, оттаивает на ограниченную глубину во второй половине лета). Отсюда – широкое развитие снеговых селей, формирующихся в период снеготаяния вследствие глубоких оттепелей. Дождевые (летние) сели развиты ограниченно, и представлены преимущественно селевыми паводками и мелкими склоновыми формами. Холодную зону образуют Западный, Восточный и Арктический регионы.

Д. *Западный регион*: массивы Кольского полуострова и северная часть Урала – Полярный и Приполярный Урал. Климат района – переходный от морского к континентальному (Кольский полуостров) и умеренно-континентальный, умеренно-холодный (Урал). Селеопасный период продолжается с мая по август; в мае–июне формируются многочисленные снеговые сели, в июле–августе – редкие дождевые, преимущественно мелкие (склоновые). Западный регион разделяется на две области – Кольскую и Полярноуральскую.

Е. *Восточный регион*: плато Путорана и горы Северо-Востока России. Климат региона самый континентальный и резко континентальный, очень холодный. Селеопасный период, как и в западном регионе холодной зоны, продолжается с мая по август. В мае – июне сходят господствующие здесь водоснежные потоки. Селевые паводки и склоновые дождевые сели возможны в течение всего лета – в июне – августе. Повторяемость снеговых селей более частая по сравнению с западным регионом. По различиям в наборе типов селевых явлений и в степени селевой активности в пределах региона выделены Путоранская, Верхоянская, Колымско-Чукотская селевые области.

Ж. *Арктический регион*: горы Бырранга (п-ов Таймыр), острова Арктики, занятые горно-покровным оледенением (архипелаги Земли Франца-Иосифа, Новой Земли, Северной Земли, о. Врангеля). Господствующий здесь арктический климат мало благоприятен для селеформирования. Редкие снеговые сели формируются в период абляции на

окраинах ледниковых куполов и щитов и в приледниковой зоне. По различиям в преобладающих типах селепроявлений в пределах региона выделено две области – Таймырская и Полярно–Островная.

Районирование и характеристика главных особенностей селевых явлений по регионам позволяют сделать некоторые обобщения относительно их развития в горных районах бывшего СССР.

1. Измерение площадей районов разной степени активности в пределах селевых областей дает возможность объективно оценить общий уровень селевой активности горных районов бывшего СССР, и различия между областями. Результаты подсчетов представлены в табл. 3.8. Соотношение суммарной площади районов высокой, средней и низкой степени активности в целом по стране составляет 1:2:4. Преобладание средней и низкой степени селевой активности находится в соответствии с преобладанием среднегорного рельефа. К областям, в которых процент высокой степени активности выше нормы (среднего значения по стране), относятся Кавказская, Копетдагская, Памиро-Тяньшанская, Байкальская, Полярноуральская. Главные области распространения районов потенциальной активности – Алтайская и Амурская, где велика сдерживающая роль горных лесов. Суммарная площадь районов потенциальной селевой активности выше соответствующего значения районов высокой активности.

2. Продолжительность селеопасного периода в пределах теплой зоны составляет от 4 до 12 месяцев в году (табл. 3.7). К областям, где селепроявления возможны в течение круглого года, относятся Карпаты, Крым, Копетдаг, Памир и Тянь-Шань. Сюда следует отнести и горы Камчатки, в которых дождевые и снеговые потоки теплого времени года могут сменяться редкими вулканогенными селями зимы. В пределах холодной зоны продолжительность селеопасного периода ограничивается 3–4 месяцами.

Продолжительность периода наибольшей селевой опасности в подавляющем числе областей составляет два месяца. Лишь в селевых областях с круглогодичным селеопасным периодом она возрастает до трех месяцев (Карпаты, Крым), а в Памиро-Тяньшанской области – до 6, учитывая весь временной спектр селепроявлений по высотным поясам.

3.3. СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На базе схемы районирования селеопасных территорий бывшего СССР составлена аналогичная схема селеопасных территорий Российской Федерации (Экологический атлас..., 2002). Она включает две зоны, шесть регионов и четырнадцать селевых областей (табл. 3.8). Ниже да-ется краткая характеристика выделенных областей.

Таблица 3.8. Районирование селеопасных территорий России. Режим селей

Зоны	Регионы	Области	Селеопасный период	
			Календарные сроки (мес.)	Продолжительность (мес.)
теплая	Европейский	Северокавказская	V–X	6
		Южноуральская	V–X	6
	Южносибирский	Алтайская	IV–VIII	5
		Байкальская	V–VIII	4
	Тихоокеанский	Амурская	VI–IX	4
		Сахалинская	VI–X	5
Камчатская		VI–X**	5	
холодная	Западный	Кольская	V–VIII	4
		Полярноуральская	V–VIII	4
	Восточный	Путоранская	V–VIII	4
		Верхоянская	V–VIII	4
		Колымско-Чукотская	V–VIII	4
	Арктический	Таймырская	VI–VIII	3
Полярно-Островная		VI–VIII	3	

*Отдельные редкие случаи селепроявления, вызванные экстремальными условиями, возможны вне календарных сроков селеопасного периода

**Без учета вулканогенных селей, возможных в течение всего года

I. Теплая зона. А. Европейский регион. Включает две области – Северокавказскую и Южноуральскую.

1. Северокавказская селевая область охватывает северный макросклон Б. Кавказа в пределах границ Российской Федерации. В административном отношении сюда входят горные части Краснодарского и Ставропольского краев, Кабардино-Балкарской, Северо-Осетинской, Ингушской, Чеченской, Дагестанской республик.

Большой Кавказ – горная страна с альпийским рельефом и современным оледенением в центральной части. Преобладающие абсолютные высоты хребтов 2000–4000 м, относительные – 1000–1500 м. Хребты в осевой части Центрального и Западного Кавказа сложены преимущественно метаморфическими сланцами, гнейсами, гранитами протерозоя и палеозоя; в осевой части Восточного Кавказа, на макросклонах и в передовых хребтах преобладают известняки, мергели, песчаники, глинистые сланцы юры и мела. Климат с запада на восток меняется от влажного к сухому. Годовые осадки составляют на Западном Кавказе 2500 мм, на Центральном – 1500 мм и на Восточном 1000 мм. Ландшафты, помимо гляциально-нивальных, представлены горно-луговыми, горно-лесными, горно-степными.

Северный Кавказ – наиболее активный в селевом отношении регион России. Изученность селевых процессов здесь относительно высока; обобщающие данные содержатся в сводных монографиях и кадастрах (Каталог селеопасных..., 1969; Селеопасные районы..., 1976; Кадастр лавинно-селевой..., 2001). По имеющимся к настоящему времени сведениям вся горная территория Северного Кавказа является в той или иной степени селеопасной. Наибольшей селевой активностью характеризуется Центральный Кавказ, как наиболее высоко поднятый и несущий современное деградирующее оледенение. На Восточном Кавказе уменьшение площади оледенения и общей увлажненности компенсируется распространением легко выветривающихся глинистых сланцев и других осадочных горных пород, а также господством степных и полупустынных ландшафтов, обеспечивающих быстрый сток поверхностных вод. Поэтому активность селевых процессов в целом здесь остается высокой. Западный Кавказ, в значительной мере сниженный и залесенный, наименее активен в селевом отношении, здесь резко падают и густота сети селевых русел и объемы выносов селей. На всей территории

Северного Кавказа господствуют сели дождевого генезиса, в осевой зоне с современным оледенением к ним добавляются гляциальные. Очень редки снеговые сели (водоснежные потоки), обычно в форме небольших склоновых форм. Образование водоснежных потоков в предгорьях Западного Кавказа в феврале 1965 г. было вызвано оттепелью, сопровождавшейся проливными дождями (А. П. Ковалев, 1974).

На Северном Кавказе насчитывается 925 селевых бассейнов (без мелких склоновых форм). Средние значения их параметров лежат в диапазонах: площадь 15–35 км², длина водотока – 6–8 км, средний уклон водотока – 110–280‰. Характерные значения объема выноса селями обломочных масс на Центральном Кавказе измеряются десятками тыс. м³; бассейны с крупными выносами – более 100 тыс. м³ – составляют около 10% общего количества. На Восточном Кавказе широко развиты средние и мелкие по объемам выноса селевые потоки (тысячи–десятки тыс. м³); селевые бассейны с объемом выноса более 100 тыс. м³ составляют менее 5% общего количества. На Западном Кавказе преобладают мелкие сели, объем выноса которых измеряется тысячами м³; бассейнов с выносом более 10 тыс. м³ – около 5%.

Мощные селевые потоки имеют ледниковый генезис. Поток 1–3 августа 1940 г. на р. Адырсу (бассейн р. Баксан, Кабардино-Балкария) было вынесено около 3 млн м³ обломочных масс и разрушено два альпинистских лагеря. В результате серии селевых потоков на р. Герхожансу (бассейн р. Баксан, Кабардино-Балкария) 18–25 июля 2000 г. объем твердых выносов составил 1,4 млн м³; р. Баксан была подпружена и часть г. Тырнауз оказалась затопленной; погибли 8 человек, нанесен значительный ущерб хозяйству города и промышленным предприятиям. В Дагестане ледниковый селевой поток на р. Темир (бассейн Аварского Койсу) в августе 1974 г. вынес около 1 млн м³ обломочных масс. Максимальное значение выносов грязекаменной массы селевым потоком дождевого генезиса составило около 250 тыс. м³ (р. Интитляр, бассейн р. Аварское Койсу, июнь 1972 г.). В обоих случаях сход селей приводил к временному подпруживанию р. Аварское Койсу.

Гигантскими объемами выносов и катастрофическими последствиями отличаются редкие водоledяные потоки, относящиеся к классу уль-

трасселевых. Такие потоки дважды сошли по р. Геналдон (Сев. Осетия). Первый, 3 июля 1902 г., вынес около 65 млн м³ льда и фирна с участием обломков горных пород, унеся жизни 32 человек. Второй поток прошел 20 сентября 2002 г. Срыв фирново-ледяных масс сформировал водоледяной поток, который ниже по течению трансформировался в водокаменный. Объем выносов составил около 115 млн м³; погибло 135 человек – это крупнейшая природная катастрофа на Северном Кавказе из достоверно установленных.

Селеопасный период – с учетом единичных селепроявлений – продолжается в пределах Северного Кавказа с января по октябрь; основная его часть, когда проходит более 90% селей – с мая по сентябрь; период наибольшей опасности (72% случаев) – июль–август. Межселевой интервал дождевых селей в среднем составляет 8 лет. На Центральном Кавказе выделяется два характерных типа селевых бассейнов, со средней повторяемостью один раз в 3–5 и 10–12 лет. Первый – небольшие по площади бассейны, с очагами зарождения в пределах альпийского пояса, в области развития песчано-глинистых пород. Второй – более крупные по площади бассейны с очагами зарождения в субнивальном поясе, в области развития кристаллических пород, древних морен.

Сели ледникового генезиса сходят в июле–августе. Режим их, в связи с эволюцией ледниково-моренных комплексов, неустойчив. Характерно чередование периодов покоя продолжительностью 15–20 лет с периодом активности продолжительностью 3–4 года.

Массовый сход селей отмечен на Центральном Кавказе в 1953 и 1967 гг., на Восточном – в 1963 г.

Усиление селевых процессов вследствие хозяйственной деятельности проявляется наиболее отчетливо в районах развития горнорудной промышленности. Отвалы карьеров и рудников служат очагами зарождения новых селевых потоков или увеличивают объемы выноса естественных селей (районы гг. Новороссийск, Тырнауз, пос. Садон, с. Заюково). Другой аспект отрицательного воздействия, сопровождавший освоение гор – сведение лесов на крутых склонах и деградация высокогорных пастбищ в результате перевыпаса. Следствием этого служит

обычно резкое усиление эрозии и других экзогенных процессов и образование мелких склоновых форм селевых бассейнов. Последние наиболее характерны для окрестностей населенных пунктов.

Основной ущерб селевые потоки на Северном Кавказе наносят дорогам, городам и населенным пунктам, объектам рекреации. От селей в разные годы страдали города Новороссийск, Туапсе, большинство горных автомобильных дорог, многие населенные пункты. Несколько альпинистских лагерей в долинах рек Цейдон и Баксан были разрушены селями.

Противоселевые мероприятия осуществлены в ограниченных масштабах. В значительной мере нейтрализована селевая угроза в районе г. Новороссийска – путем возведения барражей и посадки кустарника, и в г. Тырнауз – и с помощью селепропускного лотка. Большая часть объектов народного хозяйства, находящихся под угрозой селевых потоков, не имеет защитных сооружений; практически не внедряется фитомелиорация.

2. Южноуральская селевая область охватывает Северный, Средний и Южный Урал; в административном отношении сюда входят части Пермской, Челябинской, Оренбургской областей и Башкирская республика. Абсолютная высота хребтов составляет 700–900 м, относительная – 400–700 м.

Горы сложены метаморфическими, эффузивными, интрузивными комплексами пород протерозоя и палеозоя. Преобладающие ландшафты – горно-таежные в северных частях и степные – на юге.

Естественные условия для развития селей малоблагоприятны; возможны редкие дождевые сели в осевой (возвышенной) зоне хребтов. Однако длительное промышленное и сельскохозяйственное освоение, сведение лесов активизировали эрозионно-селевые процессы на Среднем и Южном Урале. Известные случаи схода селей связаны с сильными ливнями в условиях нарушенных или измененных ландшафтов, т. е., являются антропогенными или природно-антропогенными по генезису.

Селевые конусы выноса отмечены в верховьях р. Юрюзань, близ городов Белорецк, Златоуст, Усть-Катав, Катав-Ивановск, в массивах Крока

и Ревдинский (Селеопасные районы..., 1976). В г. Златоуст 17 июля 1966 г. ливень, давший 67 мм осадков, сформировал селевой поток, который снес мосты и залил цеха заводов (И. И. Херхеулидзе, 1967).

Преимущественно антропогенный характер селеформирования в регионе подтверждается распространением его на равнины предгорий. В районе г. Перми возникновение селя было вызвано гибелью растительного покрова вследствие повышенной загазованности от обогащительных и химических производств. Селевой поток в руч. Тузлук-Куль – левом притоке р. Урал – возник 24 июня 1979 г. после сильного ливня с градом (В. А. Горяинов, 1988). Бассейн ручья расположен в восточной части Предуральской возвышенной равнины (Оренбургская обл.). Поток снес капитальный мост, смыты почвы и занесены посевы на площади более 1300 га. Сель сформировался в пределах распаханной части склона.

На северной оконечности Северного Урала вместе с дождевыми возникают водоснежные потоки. Наиболее значительные из них образуются весной, в период снеготаяния. Один из таких потоков отмечен в мае 1954 г. в верхнем течении р. Щугор (А. О. Кеммерих, 1961).

Б. Южносибирский регион. Включает Алтайскую и Байкальскую селевые области.

3. Алтайская селевая область включает Горный Алтай, Западный Саян, Горную Шорию, Салаирский кряж, Кузнецкий Алатау. В административном отношении она охватывает территорию Алтайского края, Кемеровской области, республик Алтай, Хакасия, Тыва. Хорошо изучен в селевом отношении Горный Алтай (В. А. Виноградов и др., 1987). Средние абсолютные высоты его хребтов от 1000 до 3500 м, относительные – от 400 до 1400 м. Горы сложены глубоко метаморфизованными сланцами, песчаниками, известняками, туфами, лавами палеозоя. Преобладают среднегорный рельеф и горнотаежные ландшафты. Годовая сумма осадков на западе и северо-западе области – до 1500–2000 мм, на юго-востоке (в котловинах) – 100–300 мм. В теплое время года (апрель–октябрь) выпадает до 76–90% годовой суммы; месячные максимумы чаще всего приходятся на июль–август.

Подавляющее большинство селей на Алтае – дождевые; к ним относятся и большая часть мелких и все наиболее крупные. 14 июня 1974 г., после дождя с суточной суммой 27 мм в районе с. Эдиган (правобережье Катуня), сошли многочисленные мелкие селевые потоки, с объемом выноса до 200 м³. Самые крупные селевые потоки формируются в районе Телецкого озера, чему способствуют наличие неотектонических разломов и глубокое расчленение (более 1500 м). Суточные суммы осадков при этом составили 55–70 мм. Мощные потоки отмечены 10–11 июля 1963 г. и 21 июля 1970 г. Поток 1963 г. сформировался в ночь с 10 на 11 июля на р. Баяс – левом притоке р. Кыга (южный берег Телецкого озера). Зарождение селя произошло на участке гари 1962 г.; после схода селя он оказался покрыт глубокими эрозионными врезами. Объем выноса составил около 500 тыс. м³. Поток 1970 г. сформировался в левом безымянном притоке р. Кыга. Зарождение его связано с образованием оползневых плотин–запруд и последующим их прорывом. Объем выносов составил около 60 тыс. м³.

Отмечены случаи формирования селей снегового генезиса. Небольшие водоснежные потоки прошли по сухим логам в Колбинском хребте в марте 1977 г. (Е. И. Колесников, В. И. Попов, 1981). Сход водоледяных потоков по р. Громотухе на западном Алтае отмечен в феврале 1961 г. (И. А. Назаров, 1968). В наиболее возвышенных хребтах на юге области, несущих современное оледенение, зарождаются редкие селевые потоки ледникового генезиса.

Селеопасный период, связанный с дождевыми селями, продолжается с апреля по август, период наибольшей активности – июнь–июль. Учитывая редкие случаи снеговых селей – водоснежных и водоледяных – начало селеопасного периода следует отнести на февраль.

Некоторое усиление эрозионно-селевых процессов вследствие хозяйственной деятельности вызывается сведением лесов, перевыпасом, строительными работами. Безлесные, стравленные скотом склоны покрываются сетью эрозионных врез. Часть их носит характер элементарных селевых бассейнов, с валами и конусами выно-

са из крупнообломочного материала. Длина свежих врезов достигает 2,0–3,6 км. Такие участки описаны на правом берегу рек Катунь и Урсул (В. А. Виноградов, 1976; 1978).

В пределах Алтайской селевой области преобладают площади с низкой и потенциальной селевой опасностью. Ограниченные районы средней степени опасности выделены лишь в районе Телецкого озера (хребты Корбу, Чульшманский) и на юге, в хребтах, несущих современное оледенение (Катунский, Южно-Чуйский, Северо-Чуйский). Причинами относительно слабого развития селевых процессов служат: ярусность рельефа, господство горно-таежных ландшафтов, незначительные осадки во внутренних (юго-восточных) частях гор.

4. Байкальская селевая область охватывает системы хребтов и нагорий вокруг оз. Байкал – Восточный Саян, Хамар-Дабан, Становое нагорье и другие, менее значительные. Она включает в себя части Иркутской и Читинской областей, Бурятской и Якутской республик.

Средняя абсолютная высота хребтов от 1000 до 2500 м, относительная – от 500 до 1300 м. Господствуют метаморфические породы и граниты архея и протерозоя. Эта область самого континентального климата и господства горно-таежных среднегорных ландшафтов.

Характеристику области целесообразно дать отдельно, – по основным хребтам и нагорью.

Восточный Саян. Главная причина зарождения селей – ливни, иногда с участием снеготаяния. Массовый сход селей вызывается затяжными дождями, завершающимися ливнем; общая сумма осадков при этом составляет более 200 мм. В обеспечении твердой составляющей селей очень велика роль выветривания. По результатам стационарных наблюдений накопление рыхлообломочного материала в русле, достаточного для образования селевого потока, происходит за 4–5 лет (В. К. Лапердин, Ю. Б. Тржцинский, 1976).

Зарождению селей способствуют прорывы плотин, которые образуются в узких долинах снежными лавинами, сплывами грунта, обвалами и осыпями; наибольшая зафиксированная высота плотины достигала 18 м. Характерно участие древесных стволов, – как в строении плотин,

так и в составе селевой массы и селевых отложений. Русловые селевые потоки по составу водокаменные; максимальный объем выноса достигает 300–590 тыс. м³.

Все известные даты схода селей приходятся на июнь-август, большей частью на конец июня–июль. В начале лета селеформирование ограничивается нижним этажом гор; для этого времени характерны паводки и селевые потоки низкой плотности в крупных по площади бассейнах. Во второй половине лета, после оттаивания многолетней и сезонной мерзлоты в гольцовой зоне, процесс охватывает всю площадь гор; в этот период зарождаются и водокаменные и грязекаменные селевые потоки. Повторяемость селей в центральных и южных частях Восточного Саяна по дендрохронологическим данным составляет: крупных – один раз в 16–30 лет, мелких – один раз в 4–8 лет.

Хамар-Дабан. Подножья северного склона хребта выходят к южному берегу Байкала. После того, как здесь в начале XX в. была проложена Восточно-Сибирская железная дорога, основные сведения о селепроявлениях связаны, прежде всего, с ущербом от селей дороге и населенным пунктам.

Господствуют ливневые сели; суточные максимумы осадков при массовом сходе селей в 1971 г. составляли от 100 до 260 мм. Почти все бассейны северного склона Хамар-Дабана площадью менее 150–200 км² селеактивны; наиболее активны бассейны площадью менее 100 км². Селевая активность крупных бассейнов прямо связана с активностью их притоков, выносы которых относительно быстро восстанавливают массу обломочного материала в главном русле, необходимого для формирования нового селя.

В механизме зарождения селей велика роль прорыва временных плотин, образованных обвалами, сплывами, оползнями. Часть этих плотин возникает непосредственно перед сходом селей, во время обильных дождей, другие были созданы ранее. Объем временных запрудных озер, восстановленный по их следам, составляет от 10 до 250 тыс. м³ (В. В. Дробот, 1983).

По составу селевые потоки преимущественно водокаменные в западной части и грязекаменные – в восточной, где в предгорьях развиты глинистые отложения неогена. Единовременный вынос обломочных масс наиболее крупных селей достигает 300–500 тысяч м³ и более. В результате массового схода селей на южном берегу Байкала в 1962 и 1971 гг. в озеро было вынесено, соответственно, более 3 и около 5–8 млн м³ обломочного материала.

От селей Хамар-Дабана страдают Кругобайкальский участок Восточно-Сибирской железной дороги, шоссейная дорога, промышленные и жилые постройки, сельскохозяйственные земли. Селевые потоки р. Слюдянки причиняли ущерб в 1915, 1934, 1960 гг. Сход последнего сопровождался разрушением 15 и повреждением 50 домов (Селевой паводок..., 1963). В качестве мер защиты на железной и шоссейной дорогах используются селепропускные сооружения – однопролетные мосты; территория населенных пунктов ограждается дамбами.

Становое нагорье представляет собой систему молодых средневысотных хребтов и впадин, протянувшихся от северной оконечности оз. Байкал до р. Олекма. Подобно другим частям Байкальской рифтовой зоны нагорье характеризуется блоковым строением, контрастным рельефом, активной новейшей и современной тектоникой, высоким уровнем сейсмичности.

Селевые процессы в Становом нагорье широко развиты. Густота сети селевых русел наиболее значительна в пределах коротких макросклонов хребтов, обращенных к межгорным впадинам и в осевых зонах хребтов, – здесь часто большая часть водотоков селеактивна. Основной генетический тип селей – дождевой. Дождевые сели формируются во второй половине лета вследствие ливней или затяжных дождей, завершающихся ливнем. Крупные сели дождевого генезиса, прошедшие одновременно в ряде бассейнов, отмечены в июле 1956 г. в Каларском хр., в июле 1958 и в августе 1977 в хр. Кодар, в июле 1967 и в августе 1983 в хр. Удокан. Весной и в начале лета в селеформировании участвуют талые снеговые воды. Сели образуются при сочетании снеготаяния и дождей или преимущественно за счет интенсивного снеготаяния. В последнем случае возникают водоснежные потоки,

селевая масса которых состоит из снега, льда и воды с участием обломков горных пород. Водоснежные потоки прошли в июне 1971 г. в хр. Удокан, в июне 1976 г. в хр. Кодар, в мае 1982 г. в Байкальском хребте.

Материалом твердого питания селей служат преимущественно русловые и пойменные отложения на дне долин, морены, делювиальные, коллювиальные отложения в их бортах. Формирование крупных русловых селей происходит за счет глубинной и боковой эрозии в средней и нижней частях долин, вследствие трансформации паводка в селевой поток. Весной и в начале лета зарождение водокаменных и водоснежных селевых потоков нередко связано с прорывом временных плотин, созданных лавинами, наледями, снежниками. Зарождение мелких склоновых форм селей, помимо эрозии, вызывается спływом переувлажненного грунта или срывом курума (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Выносы склонового селя в русле руч. Скользкий; бассейн р. Наминга, хр. Удокан, 1977

Активизации селевых процессов способствуют высокобалльные землетрясения, – путем концентрации обломочных масс в руслах рек. Вследствие Муйского землетрясения 27 июня 1957 г. интенсивностью 10–11 баллов с верхних частей склонов ущелий стяхнуло весь каменный

плащ, – «обломочный материал стекал в распадки, образуя каменные реки протяженностью до нескольких километров» (Живая тектоника..., 1966, с. 18). Сейсмогравитационными осыпями и обвалами была охвачена площадь около 150 тыс. км², на расстоянии до 350 км от эпицентра. Свежие формы «глыбовых сейсмолавин» в хр. Кодар также связывают с этим землетрясением. По дендрохронологическим данным селепроявления в 1957 г. имели место в хребтах Муяканский, Каларский, Кодар, Удокан. Селевая активность 1958 г. связана, по-видимому, с продолжением очистки долин от обломочных масс, сброшенных землетрясением 1957 г.

По режиму селевой деятельности можно выделить две группы селевых бассейнов. Наиболее многочисленную составляют бассейны площадью 3–6 (до 10) км²; объем селевых выносов в них измеряется десятками тысяч м³, повторяемость селей – один раз в 3–6 лет. В них формируются грязекаменные, водокаменные, водоснежные селевые потоки. Вторую группу образуют крупные водотоки с площадью бассейна 15–30 (до 60) км²; максимальные объемы выносов лежат в пределах 100–300 тыс. м³, повторяемость селей – один раз в 10–20 лет. В них формируются преимущественно водокаменные сели. Для наиболее крупных по площади селевых бассейнов – до 100–120 км² – характерны селевые паводки. В составе селевой массы нередко значительную долю занимают стволы и обломки древесной растительности. Селеопасный период продолжается с мая по август; в мае–июне формируются снеговые и дождевые сели, в июле–августе – дождевые.

В связи с активным освоением территории становятся актуальными проблемы антропогенных селей, ущерба и защиты. Образованию ливневого селя в августе 1987 г. способствовал размыв плотины в русле ручья, созданной полотном дороги к разведочной штольне в хр. Удокан. Ливневыми селями в августе 1983 г. в хр. Удокан разрушено 7 автодорожных мостов и 3 км полотна притрассовой автомобильной дороги (В. Ф. Перов, А. В. Кириченко, М. Н. Лаптев, 1984). В качестве простейшего приема защиты трассы БАМ от селевых потоков предлагается устройство глубинных наносоуловителей на конусах выноса, грунты которых уже

используются в строительных целях (Геология и сейсмичность..., 1985). Для предотвращения экспансии селевых процессов жизненно важно сохранить леса на горных склонах и у подножий хребтов.

В. Тихоокеанский регион: Амурская, Сахалинская и Камчатская селевые области.

5. Амурская селевая область включает хребты Становой, Джугджур, Сихоте-Алинь, а также менее значительные хребты и массивы бассейна р. Амур и Алданского нагорья. В административном отношении сюда входят части Хабаровского и Приморского краев, Амурской области, Якутской республики. Преобладающие абсолютные высоты хребтов лежат в диапазоне 1000–2000 м, относительные – 500–1000 м. Горы сложены в северной части преимущественно декабрьскими гнейсами и гранитами, мезозойскими вулканическими породами, в южной – вулканогенными и осадочными породами палеозоя и мезозоя (конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты). Господствующие ландшафты – горно-таежные и горно-тундровые; к северу доля последних возрастает.

Селевые явления распространены практически на всех горных хребтах; наиболее активны они в их осевых или наиболее возвышенных частях. Расположение селевых водосборов в большинстве случаев привязано к областям древнего оледенения и к зонам тектонических разломов, которые обеспечивают благоприятные условия твердого питания селей. Отчетливые признаки селевых процессов в форме долинных селей отмечены в хребтах: Токинский Становик, Джугджур (южная и центральная части), Тыльский, Тайканский, Селемжинский (восточная часть), Ям-Алинь, Эзоп, Дуссе-Алинь, Буреинский (восточная часть), Баджальский. Господствующий генетический тип селей – дождевой, в северных частях области все более значительную роль играют снеговые сели (водоснежные потоки). Приведем в качестве примера краткие сведения о селепроявлениях в бассейне р. Тыль, расположенного между хребтами Тыльский и Тайканский (полевые исследования С. Н. Ушнурцева). Большинство селей формируется в мелких водосборах площадью 2–4 км², с временным водотоком, меньшая часть – в долинах площадью 10–20 км², с постоянным водотоком. По дендрохронологическим данным повторяемость селей в мелких водосборах составляет один раз в 2–4 года, в крупных – каждые

10–12 лет. Селевые потоки вызываются ливнями. Например, они прошли здесь 2 августа 1980 г. (дожди начались 26 июля), когда сумма осадков составила 34 мм, а интенсивность ливня – от 0,6 до 1,0 мм/мин. По составу селевые потоки относятся к водокаменным.

В хребте Сихоте-Алинь распространение селевых явлений ограничено локальными приводораздельными участками; большая часть площади гор характеризуется потенциальной селевой опасностью. Преобладают склоновые и мелкие русловые типы водосборов. Повторяемость по единичным дендрохронологическим данным в бассейне р. Кема составляет один раз в 9 лет (Гидроэрозионные процессы..., 1982).

По результатам наших полевых исследований на северном склоне Токинского Становика сходят селевые паводки и водоснежным потоки; преобладают последние. Средняя повторяемость водоснежных потоков по дендрохронологическим данным составляет один раз в 6 лет. Параметры потоков – по следам в зоне транзита составили: глубина от 2 до 7 м, на поворотах русла – до 10 м, ширина – от 10 до 25 м. Максимальный размер вынесенных обломков – 1–2 м в поперечнике.

Селевые процессы усиливаются в районах хозяйственного освоения. Отмечены случаи возникновения небольших склоновых селей на участках сведения лесов и строительных работ в Сихотэ-Алине. Сохранение горных лесов сможет предупредить активизацию селевых процессов в регионе.

6. Сахалинская селевая область ограничивается территорией о. Сахалин; в административном отношении это часть Сахалинской области.

Горные хребты острова Сахалин имеют средние абсолютные отметки 600–1200 м и относительную высоту 400–600 м. Они сложены мезо-кайнозойскими породами, по составу преимущественно песчано-глинистыми, сравнительно легко выветривающимися. Климат острова влажный, муссонный; господствуют ландшафты таежных среднегорий.

Можно выделить две группы селеопасных районов острова – прибрежной зоны и собственно горных хребтов (О. И. Бударина и др., 1987). Участки прибрежной зоны наиболее активны в селевом отношении и характеризуются средней степенью селевой опасности. В пределах гор-

ных хребтов селевые явления редки; степень селевой опасности здесь слабая или потенциальная. Селевые потоки прибрежной зоны формируются в коротких оврагообразных долинах, расчленяющих высокие морские террасы и реже – в более длинных (3–6 км), верховья которых лежат на склонах прибрежных хребтов. Генезис подавляющей части селей – дождевой; отмечены единичные случаи схода снеговых (водоснежных) потоков. Формированию селей в южной половине острова способствовало сведение лесов. Величина селеформирующих осадков составляет около 60 мм в начале лета и около 80 мм – во второй половине лета. Обильные осадки связаны с прохождением глубоких циклонов. Селеопасный период продолжатся с июня по октябрь, период наибольшей опасности приходится на август-сентябрь. Единичные случаи схода водоснежных потоков отмечены в апреле 1982 и 1989 гг. Повторяемость дождевых селей составляет в среднем один раз в 3–5 лет. Случаи массового схода селей, когда они формировались в десятках селевых бассейнов, отмечены в августе 1971, 1981 и 1994 гг. Причиной служил выход на территорию острова тайфунов, сопровождавшихся обильными многодневными осадками (до 200 мм в сутки).

Характерные значения объема выноса обломочных масс – 2–5 тыс. м³, максимальный достигает 60–100 тыс. м³. По составу потоки – водо- и грязекаменные. Осредненные значения параметров селевых потоков в зоне транзита: ширина до 2 м у склоновых селей и до 8 м – у русловых; высота переднего фронта селевой волны – до 2 м у мелких селей и до 5 м – у средних.

Несмотря на ограниченные объемы выноса обломочных масс, сход селей сопровождается значительным ущербом. Объектами разрушений или повреждений служат автомобильные и железные дороги, мосты, жилые дома. Наибольший ущерб нанесен массовым сходом селей в августе 1981 г. Дорожное полотно, линии связи и электропередачи были разрушены на протяжении нескольких километров, повреждено несколько десятков жилых домов. В результате схода селей в сентябре 1992 г. сообщение между южной и центральными частями острова было прервано на две недели (Н. А. Казаков, И. Г. Минервин, 2000).

7. **Камчатская селевая область** включает горные районы полуострова Камчатка и Курильских островов; в административном отношении они входят в состав Камчатской и Сахалинской областей. На Камчатке распространены дождевые, снеговые и вулканогенные сели; специфику селевых процессов составляют последние. Вулканогенные сели формируются в пределах Восточного хребта, в котором сосредоточены действующие вулканы. Механизм образования селей при взрывном извержении вулканов в большинстве случаев связан с мгновенным таянием снега на обширном пространстве, под воздействием раскаленных обломков пирокластического потока. Реже активное таяние снега и льда вызывается потоками лавы. Огромные массы воды вовлекают в поток рыхлый материал, в изобилии лежащий на склонах вулкана, формируя селевой поток. Длина вулканогенных селей в большинстве случаев составляет 15–20 км, а объем выноса – сотни тысяч кубических метров. Самый грандиозный поток сформировался вследствие направленного взрыва вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (рис. 3.8).

Раскаленный пирокластический материал отложился на площади около 500 км². Грязевой поток преодолел расстояние в 85 км – до устья



Рис. 3.8. Зона зарождения ультраселевого вулканогенного потока у подножья вулкана Безымянный в марте 1956 г. Среднее течение р. Сухая Хапица, п-ов Камчатка, 1978 г.

р. Б. Хапица, преобразовав рельеф всей долины. При средней мощности отложений – преимущественно песка и грязи – в 1–2 м, максимальная составила 20 м. Общий объем перенесенных обломочных масс – около 500 млн м³ – максимальный среди всех типов селевых потоков в пределах РФ. Сход гигантского селя привел к уничтожению леса и массовой гибели рыбы в р. Камчатка; вода в реке из-за очень высокой мутности оставалась непригодной для использования в течение недели. Вулканогенные сели сопровождали извержения вулканов Авача в 1938 г., Ключевская сопка в 1945, 1983 гг., Безымянный в 1956, 1961, 1965 гг., Шивелуч в 1964 г.

Дождевые селевые потоки и паводки зарождаются как на склонах действующих вулканов, – в руслах сухих рек – так и вне области современного вулканизма. Твердую составляющую селей обеспечивают вулканогенные отложения, морены, коллювий, делювий. Следы схода дождевых селей отмечены в бассейнах и руслового и склонового типа. Весной и в начале лета возможно формирование селей при сочетании активного снеготаяния и дождя. Повторяемость дождевых селей по дендрохронологическим данным в районе Авачинской сопки составляет в среднем: крупных – один раз в 11 лет, мелких – каждые 3–4 года. Селеопасный период дождевых селей продолжается с июня по октябрь, период наибольшей селевой опасности – в июле–августе.

В Срединном хребте севернее 58° с.ш. преобладают снеговые сели, – водоснежные потоки (О И Бударина, В Ф. Перов, 1984).

На островах Курильской гряды преобладают мелкие формы селевых бассейнов. Например, на о. Кунашир селевые водосборы представлены эрозионными врезами в древний абразионный уступ высотой до 80–100 м.; длина водотоков в них составляет 0,4–1,0 км. (А. М. Короткий, Н. В. Макарова, 2006). Отмечены случаи повреждения селями автомобильных дорог на севере о. Парамушир и на восточном побережье о. Итуруп (Селеопасные районы..., 1976). Ущерб от селей в Камчатской селевой области незначителен в связи со слабой освоенностью территории. Угроза вулканогенных селей существует в городах Петропавловск-Камчатский и Северо-Курильск. (Лаверов и др., 2005).

II. Холодная зона. Г. Западный регион. Включает Кольскую и Полярноуральскую селевые области.

8. Кольскую селевую область образуют небольшие по площади горные массивы западной части полуострова, расположенные в пределах Мурманской области. Их можно разделить на две группы: а) Хибинские и Ловозерские тундры, более высокие и глубоко расчлененные; б) Чуна – и Мончетундры, Волчи тундры, Сальные тундры, массив Чильтальд. Средняя абсолютная высота массивов 800–1000 м, относительная – 500–700 м. Они сложены интрузивными породами; господствующие ландшафты – горно-таежные и горно-тундровые. Особенности селевых процессов области даются ниже на примере Хибинского горного массива, наиболее изученного и активного в селевом отношении (Перов, 1965, 1966; Селеопасные районы..., 1976; И. Я. Боярский и др., 1979; Водоснежные потоки..., 2001).

В Хибинах формируются снеговые и дождевые сели; господствующим типом является снеговой, представленный подтипом водоснежных потоков. Потоки формируются в водотоках 1 и 2 порядка. Средние значения параметров селевых водосборов составляют: площадь 5,8 км², длина водотоков 3,3 км, уклон водотоков 122‰. Зона зарождения лежит в горно-тундровом поясе, зона аккумуляции – в горно-таежном. Период схода водоснежных потоков – май-июнь; средняя повторяемость – каждые 10 лет. По данным Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит» зарегистрированные случаи потоков лежат в интервале 28 апреля – 10 июня (Ю. Л. Зюзин, 2006). Массовый сход потоков отмечен в мае 1977 и 1987 гг.; в последнем случае участки зарождения располагались на 200–300 м по абсолютной высоте ниже по сравнению с участками зарождения 1977 г. При массовом сходе селей в 1977 г. длина потоков составила от 1,7 до 3,5 км, объем выноса – до 40–50 тыс. м³. Толщина скоплений селевых выносов – от 3 до 7 м.; они представлены крупнозернистым фирном с включением щебня, валунов, мелкозема (содержание включений около 5% по объему).

Дождевые сели проявляются в виде мелких склоновых форм. Они были отмечены, например, в бассейне р. Куньок летом 1960 г. Весной, в период снеготаяния с участием дождя, возможно образование селевых паводков в руслах рек.

Для защиты от водоснежных потоков карьера и промплощадки рудников построены две дамбы.

9. Полярноуральская селевая область: северный отрезок Уральской цепи гор – Полярный и Приполярный Урал. В административном отношении она входит в состав Архангельской и Тюменской областей и республики Коми. Абсолютные отметки составляют в среднем 900–1100 м, относительная высота 600–800 м. Горы сложены древними метаморфическими, эффузивными, интрузивными комплексами горных пород и входят в зону сплошной многолетней мерзлоты. Господствующие ландшафты – горно-тундровые и гляциально-нивальные. Современное оледенение представлено 143 ледниками общей площадью 28,7 км², они располагаются на высоте от 400 до 1300 м. С оледенением связаны альпинотипный рельеф и ледниковые отложения в верховьях речных долин.

Главный генетический тип селей – снеговой. Снежные сели широко распространены в пределах осевой (многоснежной) зоны Урала. Период схода приходится на месяцы май–июнь; они отмечены в июне 1958, 1965 гг., в мае 1973 г., в июне 1975 г. Основным условием формирования служит резкий подъем среднесуточной температуры воздуха, – на 7–10° в течение 2–3 суток (Г. Л. Ходаков, Е. А. Ильина, 1989).

Объем выноса селей в большинстве случаев составляет десятки тысяч м³, достигая 50–100 тыс. м³. Наибольший объем выноса водоснежного потока, зафиксированный в мае 1973 г. в бассейне р. Б. Пойпудына составил 500 тыс. м³ (В. Л. Познанин, 1975). Это максимальное значение для снегового типа селей на территории России. Повторяемость водоснежных потоков, по ограниченным данным для Полярного Урала – каждые 7–10 лет.

Значительно реже по сравнению с водоснежными потоками формируются селевые паводки. Два таких паводка отмечены на Приполярном Урале в верховьях р. Народа (А. О. Кеммерих, 1961; 1964). Первый образовался в конце мая 1954 г. вследствие прорыва тальными и дождевыми водами снежной запруды; он прошел более 10 км и снес мост. Второй

возник 16 июля 1959 г. вследствие ливня (60 мм за 6 час.). Подъем уровня составил 1,5 м; после спада воды на пойме остался слой несортированного щебня и дресвы.

Д. Восточный регион объединяет Путоранскую, Верхоянскую, Колымско-Чукотскую селевые области.

10. Путоранская селевая область занимает плато Путорана, расположенное на севере Красноярского края. Плато Путорана – высоко поднятая и глубоко расчлененная северо-западная часть Среднесибирского плоскогорья. Преобладающая абсолютная высота плоских вершин – 800–1000 м, глубина расчленения – от 400 до 700 м. Плато сложено эффузивами пермотриаса; господствующие ландшафты – горно-тундровые и горно-таежные.

Изученность селевых явлений в пределах области весьма ограничена. Первые сведения о селепроявлениях содержатся в статье А. М. Комлева (1957). В. Ф. Перовым (1981) установлены: широкое распространение селей, господство снеговых селей и их повторяемость. В публикации К. Ф. Войтковского и В. Г. Королькова (1998) содержатся результаты пятилетних систематических наблюдений в районе г. Норильска.

Селевые явления распространены в пределах всего плато. Высокий уровень опасности характерен для северо-западной части плато, низкий – преимущественно для юго-восточной части. Генезис селей снеговой и дождевой; господствуют снеговые сели (водоснежные потоки). Объем выносов водоснежных потоков измеряется тысячами – десятками тысяч м³; из 14 случаев в 7 он составил менее 10 тыс. м³, в 6 – от 10 до 36 тыс. м³ и в одном – 120 тыс. м³. Повторяемость потоков в среднем составляет один раз в 4–5 лет. Потоки формируются в период весеннего снеготаяния, в мае-июне; временной интервал зарегистрированных случаев схода лежит между 28 мая и 21 июня. В этот же период, помимо снеговых селей формируются и селевые паводки. Они зарождаются вследствие прорыва плотин, созданных отложениями водоснежных потоков, вынесенных из боковых притоков в русло основной реки.

Снеговые сели Путораны формируются преимущественно в небольших долинах площадью около 3 км². Высота переднего фронта пото-

ков – по следам в зоне транзита – лежит в пределах 4–7 м, возрастая в сужениях и на поворотах до 10–15 м. Отложения относительно свежих выносов водоснежных потоков представлены плащом разнообломочного материала мощностью до 0,5 м, рыхлого сложения, с участием древесных обломков. Максимальные размеры перенесенных каменных глыб от 0,5 до 2,0 м в поперечнике.

Дождевые сели проходят в июле-августе. Они проявляются в двух формах – мелких склоновых и долинных (русловых). Долинные дождевые сели в большинстве случаев можно отнести к типу селевых паводков, поскольку эффект их воздействия на ложе ограничивается переформированием зоны русла.

Сход селей в зоне освоения приводит к ущербу: например, водоснежный поток 11 июня 1990 г. на р. Икен разбил буровую установку. Построены первые защитные сооружения (дамбы).

11. Верхоянская селевая область включает Верхоянский хр., его продолжение к юго-востоку – хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан, нагорье Черского. В административном отношении она располагается в пределах Якутской республики, Магаданской области, Хабаровского края. Средние значения абсолютной высоты гор – от 900 до 2600 м, относительной – от 400 до 900 м. Горы сложены преимущественно слабо метаморфизованными песчано-глинистыми (песчаники, алевролиты, аргиллиты) породами пермо-карбона и юры, с участием эффузивных и интрузивных пород. Господствуют горно-тундровые и гляциально-нивальные ландшафты; многолетняя мерзлота сплошная; в наиболее приподнятых и увлажненных хребтах развито современное оледенение, а у их подножий – огромные по площади наледи (хр. Сунтар-Хаята, Улахан-Чистай).

Первые сведения о признаках селевой деятельности на территории области находим в статье Г. С. Ананьева (1967). Автор отметил следы схода селей в верховьях р. Колымы, в районе хр. Анначаг; распространение их ограничено областью древнего оледенения.

В пределах области распространены снеговые, дождевые и редкие сейсмогенные сели. Водоснежные потоки распространены практически повсеместно, преимущественно в среднегорьях. Они формируются

в небольших водосборах временных или постоянных водотоков, в истоках основных рек и их притоках. Средние значения параметров бассейнов водоснежных потоков в Магаданской области составляют: площадь 3,5 км², длина водотока 3,2 км, средний уклон водотока 129‰.

Водоснежные потоки образуются в мае-июне вследствие резкого подъема температуры воздуха в период снеготаяния. В горах Дел-Урэкчен сход снеговых селей отмечен 4 и 20 июня 1980 г.; ранее, на автомобильной дороге Магадан-Якутск они сошли в июне 1977 г. (В. Н. Нефедов, К. Л. Кузнецов, 1983). По опросным данным водоснежные потоки прошли в июне 1980 г. в верховьях р. Сеймчан и в мае 1981 г. в массиве Туоннах. Средняя повторяемость потоков по результатам дендрохронологического анализа составляет один раз в пять лет.

Дождевые сели распространены преимущественно в высокогорьях и в среднегорьях с альпинотипным рельефом. Они вызываются ливнями в июле-августе, в отдельных районах – при участии талых вод ледников и наледей. Сход дождевого селя наблюдался 23 июля 1964 г. в бассейне р. Собопол, на севере Верхоянского хребта (Д. К. Башлавин, 1968). Потоком были размыты пойма и берега, появились новые русла. Многочисленные дождевые сели прошли во второй половине июля – первой половине августа в верховьях рек Адычи и Агаякан, в районе п. Усть-Нера в 1958, 1959, 1961, 1962 гг. (Селеопасные районы..., 1976). Подъем уровня рек при сходе селей составил от 2 до 5 м, объем выноса обломочных масс – от 5–10 до 40–50 тыс. м³. К районам активного проявления дождевых селей относятся верховья и среднее течение бассейнов рек Охота, Кухтуй, Ульбея, Иня (Ю. Б. Виноградов, 1980). Для небольших долинных селевых бассейнов среднегорий характерны селевые паводки (нагорье Черского). Объем выносов обломочного материала в них ограничен и, соответственно, конусы выноса слабо развиты, а селевые гряды замещены плоскими полосами аккумуляции вдоль русла. Мелкие склоновые сели, вызванные ливнями и затяжными дождями, распространены повсеместно.

На территории области возможно формирование сейсмогенных селей, о чем свидетельствуют события 18 мая 1971 г. в районе п. Усть-Нера, бассейн р. Артык в нагорье Черского (В. Ф. Белый и др., 1971). Землетря-

сение интенсивностью в 9 баллов привело к срыву частично оттаявших грунтовых масс на склонах; грязевые лавины склонов трансформировались в селевой поток основной долины ручья Кобди.

Степень селевой опасности средняя и высокая в альпинотипных глубоко расчлененных хребтах и массивах и низкая и средняя в остальных районах.

12. Колымско-Чукотская селевая область расположена в пределах Магаданской и Камчатской областей и Чукотского автономного округа. Она включает среднегорья и низкогорья правобережья р. Колымы, Чукотского полуострова и Корякское нагорье. Средние абсолютные отметки горных массивов – от 500 до 1800 м, их относительная высота – от 300 до 800 м. В строении гор участвуют песчано-глинистые породы Верхоянского комплекса, граниты и вулканогенные породы палеозоя и мезозоя. Господствуют горно-тундровые ландшафты.

В Колымско-Чукотской селевой области формируются потоки дождевого и снегового генезиса; преобладают последние. Снеговые сели (водоснежные потоки) сходят в мае-июне; повторяемость и параметры их близки соответствующим характеристикам снеговых селей соседней Верхоянской области. Водоснежный поток 5 июня 1991 г. на р. Кекурной в районе г. Певек привел к гибели 8 человек и разрушению временных построек (В. П. Мочалов, А. В. Горин, 1992). Причиной зарождения послужило резкое нарастание температуры воздуха в период 1–5 июня, которое привело к интенсивному таянию и отрыву перенасыщенного снежного пласта толщиной 3–4 м. Подобные потоки формируются в бассейнах, площадью не более 20–25 км².

Дождевые сели сходят в начале и в середине лета. В Омсукчанском хребте – на западе области – дождевые сели прошли между 20 и 25 июня 1977 и 1978 гг. (В. Н. Нефедов, 1982). В их формировании участвовали и талые и дождевые воды. В Корякском нагорье – на востоке области – сход дождевых селей отмечен 23 июля 1977 г. (К. Л. Кузнецов, В. М. Булатов, 1980). Потоки образовались после периода затяжных дождей. Повторяемость, по данным дендрохронологии, составляет каждые 6–8 лет. Они возникают в небольших долинах или на склонах.

Степень селевой опасности в пределах области слабая и средняя.

Е. Арктический регион состоит из Таймырской и Полярно-Островной селевых областей.

13. Таймырская селевая область расположена в Красноярском крае. Селевые процессы проявляются в восточной, наиболее возвышенной части гор Бырранга, несущей современное оледенение. Средняя абсолютная высота гор составляет 700 м, глубина расчленения – 300 м. Горы сложены преимущественно метаморфическими и кристаллическими породами палеозоя. Господствуют горнотундровые и гляциально-нивальные ландшафты.

В пределах области формируются снеговые сели (водоснежные потоки) и селевые паводки. Первые образуются на поверхности ледников вследствие отрыва пласта снега, перенасыщенного водой, вторые – в узких долинах приледниковой зоны вследствие прорыва плотин, образованных снежниками. Сход водоснежного потока был отмечен в конце июля 1967 г. на поверхности ледника; он был вызван интенсивным таянием снега в результате резкого потепления (Селеопасные районы..., 1976).

14. Полярно-островная селевая область объединяет архипелаги Земли Франца-Иосифа, Новой Земли, Северной Земли и о. Врангеля. Они входят в состав Архангельской области, Красноярского края, Чукотского автономного округа. Около 30% площади островов занято современным оледенением в форме ледниковых щитов и куполов. Превышение ледяных и скальных поверхностей над прибрежной равниной или уровнем моря составляет от 200 до 700 м; господствуют гляциально-нивальные ландшафты.

Селевой процесс в целом развит слабо. В периоды интенсивного таяния на окраинах ледниковых щитов и куполов и в приледниковой зоне иногда образуются снеговые сели, селевые паводки, грязекаменные микросели. Возникновению их способствуют, в частности, прорыв временных наледниковых озер и снежных перемычек в узких приледниковых долинах. Сход водоснежного потока был отмечен на о. Брайс, Земля Франца-Иосифа, в 1956 г. Сход грязекаменного микроселя наблюдался на склоне моренной гряды ледника Шокальского, северный остров Новой Земли, 29 июля 1958 г. (Н. М. Сватков, 1963).

Заключение. Общая площадь селеопасных территорий Российской Федерации составляет около 10% площади страны. Наибольшей селевой активностью характеризуются Северокавказская и Байкальская селевые области. В первом случае этому благоприятствуют альпинотипный рельеф и значительное современное оледенение в стадии деградации, во втором – «живая тектоника» в зоне Байкальского рифта. Основные площади потенциальной селевой опасности расположены в Алтайской и Амурской селевых областях, где господствуют горно-таежные ландшафты. Отрицательная роль хозяйственной деятельности в активизации селевых процессов в наибольшей мере проявилась в Южноуральской и Сахалинской селевых областях – районах значительного промышленного, сельскохозяйственного и лесохозяйственного освоения (табл. 3.8).

Продолжительность селеопасного периода в пределах теплой зоны составляет от 4 до 6 месяцев, в пределах холодной – 3–4 месяца. Исключением служит Камчатская селевая область, где редкие случаи селеформирования возможны в течение круглого года в связи с извержением вулканов. Период наибольшей селевой опасности, когда сходит более 50% селей, во всех областях лежит в пределах двух месяцев.

3.4. СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СТРАНАХ СНГ

Украина. Селевые процессы развиваются в Карпатах и в горном Крыму.

Украинские Карпаты занимают часть Восточных Карпат. Абсолютная высота гор 1200–1800 м, средняя глубина расчленения – 600 м. Горы сложены преимущественно флишами мела и палеогена; господствуют ландшафты хвойно-широколиственных лесов. Годовая сумма осадков – от 600 до 1500 мм; суточный слой осадков 1% обеспеченности составляет 125–150 мм.

Первые сведения о селях относятся к 1911 г.; изучение селей началось в 50–х годах XX в. Обобщающие данные содержатся в монографиях (Сели в СССР..., 1964; К. Т. Логвинов и др., 1973; Селеопасные районы... 1976) и в научно-популярном издании (А. Н. Олиферов, 2007). Распространение и степень селевой опасности отражены на мелкомасштабных картах (М. М. Айзенберг и др., 1965; Комплексный атлас..., 2005).

Генезис селей дождевой; величина селеформирующих осадков в большинстве случаев составляет 50–100 мм. Очень редко сели образуются в период зимних оттепелей, вследствие снеготаяния с участием дождей. Господствующие типы селевых потоков – водокаменные и селевые паводки. Средние расчетные значения максимальных расходов селей составляют от 5–10 до 50–250 м³/с, плотности селевой смеси от 1200 до 1600 кг/м³. В составе селевой смеси велика доля древесных обломков – до 10–15% объема. В формировании селей участвуют русловая эрозия и оползание нижних частей склонов.

Селеопасный период продолжается в течение всего года. Распределение случаев схода по сезонам следующее: лето – 85%, весна – 10%, зима – 3%, осень – 2%. Повторяемость селей в среднем составляет в юго-восточной части гор каждые 3–5 лет, в северо-западной – 8–9. Объемы выносов обломочных масс на конус выноса не превышают 10–20 тыс. м³; наибольшие значения составляют 40–60 тыс. м³. Степень селевой опасности в юго-восточной части гор преимущественно средняя, в северо-западной – низкая.

К наиболее крупным селепроявлениям, охватившим значительные территории и сопровождавшимися большим ущербом относятся события августа 1927 г. (бассейн р. Прут), декабря 1947–января 1948 (бассейн р. Тисы), июля–августа 1955 г. и июня 1969 г. (бассейны рек Днестр и Прут), октября–ноября 1998 г. (бассейн р. Тисы). Усиление селевой активности в 1940–1950-х годах было вызвано сплошными рубками леса на горных склонах, в 2–3 раза превышающими расчетную лесосеку.

В связи с высокой освоенностью региона сход селей приводит к значительному ущербу. Например, в результате интенсивных ливней 5 октября 1998 г. в Тячевском районе Закарпатья от оползней и селей погибло 5 человек, разрушено 72 и повреждено 88 домов, разрушены или повреждены 12,7 км автомобильных дорог, узкоколейная железная дорога, линии связи, энерго- и газоснабжения. Меры защиты ограничиваются строительством и ремонтом берегоукрепительных стенок рязевой конструкции («кашицы»)

Крымские горы. Первые известия о селепроявлениях в Крыму относятся к 1909 и 1911 гг.; изучение селей началось в 1950-х годах. Обобщен-

ные данные об условиях формирования параметрах селевых бассейнов и селевых потоков содержатся в монографиях (Сели в СССР..., 1964; Селеопасные районы..., 1976; А. А. Клюкин, 2007) и научно-популярном издании (А. Н. Олиферов, 2007). Распространение и степень селевой опасности отражены на мелкомасштабных картах (М. М. Айзенберг и др., 1965; Атлас «Автономная...» 2003; Комплексный атлас..., 2005).

Высота Крымских гор колеблется от 700 до 1200 м, глубина расчленения – до 800 м. Они сложены преимущественно флишами и известняками триаса и юры. Склоны и плоские вершины гор заняты изреженными лесами (буковыми, сосновыми, дубовыми), а также кустарниковыми и степными сообществами. Сумма годовых осадков составляет от 500 до 1200 мм, суточные максимумы 1% обеспеченности – 75–150 мм.

Для Крымских гор характерны водокаменные сели и селевые паводки. Генезис селей дождевой. Значения суточных селеформирующих осадков лежит в пределах от 20 до 90 мм, однако в большинстве случаев им предшествуют осадки, сумма которых превышает суточные максимумы в день селя.

Сход селей возможен в течение всего года; 90% случаев приходится на лето (июнь–август) и 10% на зиму и весну. Повторяемость селей средняя и редкая, – от одного раза в 10–15 лет (юго-восточный район) до одного раза в 50–100 лет в северных предгорьях. Объем селевых выносов измеряется тысячами – десятками тысяч кубических метров (до 30–60 тыс. м³). Наиболее крупные или многочисленные потоки сходили в 1948, 1949, 1956, 1968, 1997 годах. Селевой поток на р. Демерджи образовался 11 августа 1997 г. во время ливневого дождя слоем 93,1 мм. Его расход достиг 146 м³/с, величина углубления русла составила от 0,5 до 1,5 м, общий объем перемещенного материала составил около 30 тыс. м³.

Селевой процесс в Крымских горах активизирован последствиями хозяйственной деятельности – сведением лесов и деградацией почвенно-растительного покрова вследствие перевыпаса. Это отмечено уже с середины XIX в. В последние десятилетия локальными источниками зарождения селей служили прорывы некачественно построенных земляных плотин.

Хотя масштабы селевых явлений в горном Крыму в целом невелики, в условиях высокой освоенности территории вредное воздействие их достаточно ощутимо. От селей страдают виноградники и сады, селения и отдельные сооружения, автомобильные дороги. В качестве мер защиты используются селеотводящие каналы, расчистка и обвалование русла, устройство защитных и берегоукрепляющих стенок. В 1950-х годах был внедрен механизированный способ террасирования эродированных склонов в сочетании с лесопосадками (А. Н. Олиферов, 1963). Это направление защиты оказалось эффективным в условиях Крыма.

Грузия. Селевые потоки в Грузии известны с конца XVIII в., изучение их началось в 30-х годах XX в. Публикации с обобщениями по географии селевых явлений относятся к 60–80-м годам XX в. (Г. Н. Хмаладзе, 1961; Г. И. Херхеулидзе и др., 1984; Э. Д. Церетели, Д. Д. Церетели, 1985; Генеральная схема..., 1988). Распространение, степень опасности, параметры селевых потоков отражены также на специальных картах (Карта инженерно-геологического..., 1986; Селевые явления..., 1987).

Условия селеформирования в Грузии чрезвычайно разнообразны. Абсолютные отметки хребтов Б. Кавказа составляют 2000–4000 м, М. Кавказа – 2000–3000 м, другие горные районы менее 2000 м. Литологический состав господствующих горных пород пестрый: склоны Б. Кавказа сложены кристаллическими сланцами, гранитами, флишами, известняками, глинисто-мергелистыми породами, на остальной территории преобладают вулканические породы, галечники и конгломераты. Годовая сумма осадков уменьшаются с запада на восток с 4000 до 300 мм. Преобладающие ландшафты – горно-лесные, луговые, гляциально-нивальные.

В пределах горных территорий селевые процессы распространены практически повсеместно. Общее количество селевых бассейнов превышает 1000. Господствующий генетический тип селей дождевой. По источникам жидкой составляющей известные случаи схода селей распределяются следующим образом: 79% – дожди и ливни, 9% – талые воды, 6% – ледники и моренные емкости, 6% – прорывные воды естественных запруд. По составу селевой смеси преобладают грязекаменные

и грязевые сели (73%), остальные – водокаменные. По типу движения преобладают несвязные сели. Связные ограничены в своем распространении районами развития юрского флиша Б. Кавказа.

Селеопасный период в Грузии продолжается с апреля по октябрь, несколько случаев отмечено в феврале. Основная часть селей (97%) сходит в период с мая по сентябрь; период наибольшей селевой опасности (61% случаев) – июль–август. Значения повторяемости связаны с литологическими комплексами горных пород. В районах развития песчано-глинистых, флишевых, молассовых комплексов сели формируются в среднем каждые 3–5 лет, вулканогенных – каждые 5–10 лет, интрузивных и карбонатных – более редко. Характерные объемы выносов в районах высокой селевой активности составляют сотни тысяч кубических метров (до 1,2 млн м³), в районах средней и слабой активности – десятки тысяч – тысячи кубических метров.

Наиболее мощные селевые потоки формируются в пределах южного макросклона Главного Кавказского хребта, в его центральной и восточной частях, особенно в области развития флишевой формации. Здесь расположен и активный и хорошо изученный селевой бассейн Грузии – р. Дуруджа. С 1888 по 1998 гг. в нем прошло 26 селевых потоков с выходом на конус выноса (Э. Д. Церетели и др., 2001). Пять из них носили катастрофический характер: они унесли жизни более 200 человек, были разрушены десятки домов г. Кварели. Селевые потоки грязекаменные, с объемным весом 1800–2300 кг/м³. Максимальный объем отложений на конусе выноса от 300 000 до 640 000 м³. максимальный расход – до 1200–2000 м³/с. Высокой активности процесса способствует господство в очагах зарождения аспидных и глинистых сланцев юры, отличающихся высокой трещиноватостью и раздробленностью: они легко выветриваются и дают обильный тонкодисперсный материал.

Первые защитные сооружения в Грузии (селеспуски) появились в конце XIX в., в связи со строительством Закавказской железной дороги. В конце XIX – начале XX вв. в бассейне р. Арагви были успешно проведены террасирование и лесонасаждение. Для защиты г. Кварели с 1907 г. возводятся отбойные каменные дамбы, общая длина которых (к 1970 г.) составила более 5,5 км.

Армения. Первые сведения о селепро явлениях в Армении появились во второй половине XIX в., систематическое изучение началось с 50-х годов XX в. Первые обобщения относятся к 60-м годам XX в. (М. В. Цовян, 1960; Г. Н. Хмаладзе, 1963; Сели в СССР..., 1964). Позднейшие данные по географии селей представлены в публикациях З. Н. Торосяна, В. Р. Бойнагряна, Р. О. Тер-Миносяна и др. Схематические карты селевых явлений Армении опубликованы в Атласе Армянской ССР (1961), в монографии (Сели в СССР..., 1964, в статье М. А. Арутюняна (1984).

Армения занимает часть Армянского вулканического нагорья. Преобладающие абсолютные высоты гор – 1500–3000 м.; это преимущественно средне- и низкогорья, сложенные вулканогенными и осадочными (известняки, песчаники, мергели) горными породами. Климат континентальный, засушливый; годовые суммы осадков около 500 мм. Основные типы ландшафтов – луговые, степные, полупустынные, при почти полном безлесии (лесистость составляет 10%). Обезлесение и деградация почвенно-растительного покрова в течение исторического периода привели к активному развитию эрозионных процессов на склонах гор.

Селевые явления на территории Армении распространены широко, генезис селей почти исключительно ливневой, хотя изредка они возникают вследствие сочетания интенсивного снеготаяния с дождем. Суточные осадки в день схода селей составляют от 20 до 80 мм; в подавляющем числе случаев им предшествуют осадки, выпадающие в течение 1–7 дней. Главные типы селевых потоков Армении – водокаменные и селевые паводки. Селеопасный период продолжается с февраля по сентябрь; основной селеопасный период (97% случаев) приходится на май–август, период наибольшей селевой опасности (62% случаев) – на июнь–июль.

Повторяемость селей варьирует по основным речным бассейнам от одного раза в 3–5 лет до одного раза в 10–15 лет. Характерное значение объема выноса обломочного материала составляет десятки тысяч кубических метров, максимальное – до 1,1–1,6 млн м³ (рр. Агстев, Селав-Мастара, Веди).

Отметим два случая схода селей с различными условиями формирования. Причиной селя на р. Гетар 25 мая 1946 г. явились интенсивные осадки суммой 40–50 мм. Им предшествовали обильные дожди в те-

чение почти трех весенних месяцев. На конусе выноса было отложено около 400 тыс. м³ обломочных масс, в пределах г. Еревана – 60 тыс. м³; многие дома в городе были разрушены или повреждены.

Селевой поток 5 марта 2004 г. на г. Арагац сформирован вследствие сочетания интенсивного снеготаяния с сильным дождем. Температура воздуха за несколько часов поднялась до 10–15°C. Причинен ущерб двум селам, снесено четыре моста, повалено 70 опор линии электропередач.

Основной мерой защиты от селей в Армении служит строительство гидротехнических сооружений. Перечислим примеры реализованных эффективных проектов: 1) срезка пика паводков на р. Гетар ливнерегулятором; последующие травосеяние, посадка деревьев и кустарников вместе с террасированием склонов; 2) переброска части стока в соседний бассейн (рр. Отрвеж, Вохчебед); 3) берегоукрепительные дамбы и барражи.

Азербайджан. История сохранила сведения о разрушении г. Нухи селевым потоком в 1772 г. Первые публикации о селях и связанных с ними бедствиях относятся к 1902 (К. И. Богданович) и к 1904 гг. (Н. Н. Пыльцов). Обобщающие работы появились в 50–е годы (Л. Н. Леонтьев, 1951; С. Г. Рустамов, 1957). В «Атласе Азербайджанской ССР» (1963) опубликована обзорная карта селевых явлений и в монографии (Сели в СССР..., 1964) – комплексная характеристика условий формирования и основных особенностей селепроявления. Результаты исследования двух наиболее активных селевых бассейнов – рек Кишчай и Курмухчай изложены в книгах (Селевые потоки..., 1965; С. Г. Рустамов и др., 1971). Количественные характеристики некоторых параметров селей представлены в сводке по Кавказу (Опасные гидрометеорологические..., 1983). Позднее были исследованы синоптические условия формирования селей (Г. Л. Набиев, 1985) и возможности использования космических материалов для их изучения (Н. А. Иманов, Ш. И. Исрафилов, 1982, 1990 и др.).

Селевые потоки Азербайджана формируются в пределах всей горной территории, наиболее активные и мощные – на южном склоне Главного Кавказского хребта и в юго-восточной части Зангезурского. Повышенная селевая активность южного склона Главного хребта предопределена

большим перепадом высот в пределах относительно крутого склона и преобладанием глинистых сланцев и флиша в строении гор. Селевые бассейны преимущественно крупные, – более половины их по площади превышают 100 км² и по длине водотока – 20 км. Селевые потоки возникают почти исключительно вследствие ливней. Суточная сумма селеформирующих осадков составляют 20 мм и более. Твердое питание обеспечивается разрушением обнаженных коренных пород, скоплений древних морен и делювия на крутых склонах и размывом селевых террас, выносов боковых долин и оврагов, русловых отложений – на дне долин. В истоках селевых водотоков преобладает смыв мелкозема, в среднем течении – обогащение потока крупнообломочным материалом. По составу потоки преимущественно грязекаменные, несвязные. Высота потоков над урезом на расширенных участках долин составляет 3–5 м, в сужениях – до 10 м. Максимальный расход селей достигает 200–850 м³/с, объем выноса обломочных масс – от 100 тыс. до 3 млн м³.

Селеопасный период в Азербайджане продолжается с апреля по октябрь, период наибольшей опасности (66% случаев) – июль–август. Межселевой интервал составляет от 3–5 до 10 лет; последний характерен для крупных селей. Один из наиболее активных селевых бассейнов – р. Кишчай. С 1896 по 1959 гг. по ее руслу прошло тринадцать селевых потоков. Они наносят ущерб г. Нухе и другим населенным пунктам, сельскохозяйственным угодьям, повреждают мосты, дороги, гидротехнические сооружения.

Наибольшие бедствия принесли в разные годы потоки, сформированные в бассейнах рек Шинчай, Кишчай, Турианчай, Ордубадчай. Селевые явления Азербайджана носят в значительной мере антропогенный характер, что является следствием длительного этапа истребления лесов и деградации высокогорных пастбищ. Результат хозяйственного пресса – смывы почвы, выходы коренных пород и осыпи на месте луговых ландшафтов альпийской зоны, снижение верхней границы леса, изреженные леса.

Основные защитные сооружения в населенных пунктах и на землях сельскохозяйственного использования – селенаправляющие дамбы, которые в условиях усиленной аккумуляции оказались не эффектив-

ными, – заносятся в течение 15 лет. Для защиты азербайджанской железной дороги построены барражи в селевых руслах и быстротоки в подмостовых отверстиях, которые вполне себя оправдали.

Казахстан. Горные области Казахстана охватывают части северных цепей Тянь-Шаня, хребтов Джунгарский Алатау, Тарбагатай, Саур и юго-западный Алтай. Селепроявления известны с 1841 г. Сводные данные представлены в монографиях (Сели в СССР..., 1964; А. Медеуов и др., 1993) и на «Карте фоновой оценки селеопасности Казахской ССР» масштаба 1:1 млн (1988). Более поздние значительные публикации посвящены анализу опыта профилактического спуска ледниково-подпрудных озер (Н. К. Бижанов и др., 1998), методологии и методам оценки селевого риска (Е. А. Таланов, 2007), комплексной характеристике селепроявлений в главном селевом регионе Казахстана – Заилийском Алатау (Р. К. Яфязова, 2007).

По неполным данным в Казахстане с 1841 по 1990 гг. зарегистрировано 788 случаев схода селей в 300 селевых бассейнах; более половины из них приходится на хр. Заилийский Алатау. Соотношение генетических типов селей следующее: 1) ливневые и дождевые, иногда в сочетании с интенсивным снеготаянием – 70%; 2) ледниковые – 20%; 3) сели завально-прорывного характера, связанные с временными подпрудами, в том числе сейсмогенные – 10%. Ограниченно распространены «зимние сели». Они образуются в период зимних оттепелей вследствие срыва ледяных порогов из донного льда или прорыва снежных завалов, созданных лавинами. Во время движения поток включает в свой состав снежно-ледяной покров речного русла, наледи, шугу, аллювий. «Зимние сели» отмечены на северных склонах Киргизского хр., Заилийского и Джунгарского Алатау, на юго-западном Алтае (И. А. Назаров, 1968). Последний случай подобного снежно-водоледяного потока отмечен на р. Узункаргалы (Заилийский Алатау) 5 января 2006 г. (Р. К. Яфязова, 2007).

Антропогенный сель 29 января 1988 г. сформировался на аккумулятивной наклонной равнине. Причиной послужил прорыв озера – накопителя сточных вод г. Алма-Ата объемом около 36 млн м³. Поток пробил десятикилометровое русло через пески пустыни и далее по р. Каскелен-

ке выплеснулся в Капчагайское водохранилище. Максимальный расход достигал 5–10 тыс. м³/с, а ширина местами доходила до 0,8–1,0 км. Погибло 10 человек, разрушены один железнодорожный и два автодорожных моста, животноводческие фермы.

Селеопасный период продолжается с марта по октябрь. Основной период схода селей в хр. Каратау – с апреля по июнь, в Киргизском хр., Заилийском и Джунгарском Алатау – с мая по июль. Наиболее активен в селевом отношении хр. Заилийский Алатау, менее активен Джунгарский Алатау, на большинстве других хребтов селевые процессы ослаблены. На северном склоне Заилийского Алатау большинство рек и логов селеактивны; доля селей ледникового генезиса повышена.

По составу селевые потоки республики преимущественно грязекаменные. Максимальные значения единовременного выноса обломочных масс на конус выноса составляет сотни тысяч кубических метров, достигая 1,2–3,4 млн м³. Максимальные расходы крупных селей измеряются сотнями, реже – тысячами м³/с.

Самые крупные катастрофы были вызваны селями 1921 и 1973 гг. в М. Алматинке, 1963 г. в бассейне р. Иссык, 1959 г. в бассейне р. Текели.

Ливневой сель на М. Алматинке 8 июля 1921 г. разрушил часть г. Алмата и унес жизни более 500 чел.; объем выносов обломочных масс составил около 2 млн м³. Селевой поток ледникового генезиса 15 июля 1973 г., остановленный противоселевой плотиной Медео, вынес в селехранилище 3,4 млн м³ наносов. Сель на р. Иссык 7 июля 1963 г. сформировался вследствие обрушения участка фронтальной морены ледника объемом около 6 млн м³; 4,3 млн м³ обломочных масс было отложено в долине реки и около 1,5 млн м³ вынесено в озеро Иссык. Плотина озера была размыта, и ниже по течению возник вторичный селевой поток – за счет воды спущенного озера (18 млн м³), тела плотины и подрезки склонов.

В Джунгарском Алатау массовый сход селей в бассейне р. Текели 8 апреля 1959 г. был связан с ливнем в период активного снеготаяния. Благоприятную ситуацию обеспечила многоснежная зима, а в период формирования – сход снежных лавин, оползни и оплывины в делювиальных и лессовидных породах. Селевыми потоками были разрушены участки железных и шоссейных дорог, мосты, хозяйственные и жилые здания.

Реализация мер защиты от селей в Казахстане активизировалась после создания в 1973 г. специализированной службы – «Казглавселезащита». Для защиты г. Алма-Ата была реконструирована плотина на р. М. Алматинка с емкостью селехранилища 12,6 млн м³, построена железобетонная плотина на р. Б. Алматинка, с емкостью селехранилища 14,5 млн м³. Построены железобетонные и насыпные плотины на реках Иссык, Талгар, Каскелен, Узункаргалы. Важной профилактической мерой стал регулируемый спуск прорывоопасных ледниковых озер – потенциальных очагов селеформирования. В 1970–1990-х годах спущены или существенно снижены объемы озер в верховьях рек М. и Б. Алматинки, Каскелен, Иссык, Чилик, Талгар (Заилийский Алатау).

Туркмения. Главной ареной развития селевых процессов на территории республики служит средневысотный хребет Копетдаг. Средняя абсолютная высота хребта составляет 1 000–2 000 м, глубина расчленения – 400–700 м. Горы сложены мезокайнозойскими осадочными породами (известняки, мергели, песчаники, сланцы, алевролиты, глины, конгломераты; из четвертичных распространены лессы). Горы безлесны, господствуют полупустынные и степные ландшафты. Годовая сумма осадков – 200–300 мм; суточный максимум составляет до 70–135 мм. Изученность селевых явлений Копетдага до настоящего времени остается слабой. Обобщение сведений на разных этапах отражено в публикациях Н. М. Трофимова (1937), Селеопасные районы Советского Союза (1976), С. Э. Эзимова (1980), В. Ф. Перова (1989), Т. О. Османова (1990).

Генезис селевых потоков дождевой (ливневой). Механизм формирования связан с процессами смыва мелкозема со склонов и размыва берегов и дна. Можно выделить три типа потоков, различающиеся по составу, режиму и распространенности.

1. Селевые паводки, отличающиеся от обычных паводков высокой насыщенностью наносами, кратковременностью, разрушительной силой. В отличие от типичных селей высокогорий они не содержат крупнообломочного материала; обычные продукты их выноса – пылевато-песчаный мелкозем и растительный детрит. Этот тип потоков распространен повсеместно.

2. Водокаменные (несвязные) селевые потоки, формирующиеся в условиях более значительных продольных уклонов русла и, как следствие – активной боковой и глубинной эрозии. В селевой массе, помимо мелкозема, участвует галечно-валунный материал; максимальный диаметр валунов в селевых отложениях достигает 0,5–1,5 м. Распространение их более ограничено по сравнению с селевыми паводками.

3. Грязекаменные (связные) селевые потоки, формирующиеся в области распространения глинистых пород. Случаи их схода единичны, например, на р. Арчман в 1958 г.

Характерные скорости потоков составляют 1,5–3 м/с в предгорьях и 4–5 м/с в горах; максимальные расходы достигают 400–500 м³/с, объемы выноса обломочных масс – 20–30 тыс. м³. Продолжительность схода селей в среднем составляет 4–6 ч.; основной пик гидрографа проходит за 0,5–2 ч.

Сход селевых потоков возможен в течение всего года, лишь в декабре и январе они исключительно редки. Более 50% случаев схода приходится на апрель–май (период наибольшей опасности) и более 30% – на июнь–август (рис. 1.11).

Повторяемость селей существенно различна в потоках разных типов. Паводки селевого характера случаются ежегодно и даже несколько раз в год. Водокаменные сели, сопровождающиеся размывом русла и выносом крупнообломочных масс, сходят в среднем один раз в 3–5 лет. Межселевой интервал грязекаменных селей измеряется десятилетиями. Массовый сход селей отмечен в 1963, 1969, 1972, 1976, 1981 годах. Определяется обычно многоснежной зимой и сочетанием интенсивных ливней с периодом снеготаяния весной.

В историческом плане селевые процессы в Копетдаге в значительной мере носят антропогенный характер, – их активизация явилась следствием изменения защитных свойств почвенно-растительного покрова под давлением хозяйственного пресса. Так, на большей части территории Западного Копетдага лесные и кустарниковые сообщества были истреблены, а степные сообщества вследствие перевыпаса приведены в деградирующее состояние. Это привело к усилению смыва и эрозии, образованию участков бедленда, формированию селей.

Селевые потоки Копетдага наносят большой ущерб народно-хозяйственным объектам, расположенным в горах и на подгорной равнине. В наибольшей степени страдают линейные сооружения – железная и шоссейная дороги, Каракумский канал, а также города и поселки, сельскохозяйственные угодья. Селевые потоки размывают или заносят полотно дорог и культурные земли, зарабатывают отверстия селепропускных сооружений, повреждают постройки.

Защита от селевых потоков до недавнего времени осуществлялась лишь на железной и шоссейной дорогах и на Каракумском канале, которые проложены вдоль подножья Копетдага. Основным приемом служит строительство селепропускных сооружений – мостов, дюкеров.

Узбекистан. Горные районы Узбекистана охватывают сниженные западные остроги Гиссаро-Алая и Тянь-Шаня, а также большую часть Ферганской долины. Это наиболее освоенные человеком горные области в пределах региона. Изученность селевых явлений сравнительно высокая. Селепроявления известны с 1870 г. К 1965 г. был подготовлен список селеопасных рек с датами схода селей (Селевые потоки..., 1965); в 1976 г. в коллективной монографии представлена комплексная характеристика селевых явлений (П. М. Карпов и др., 1976). Систематизация данных представлена в Атласе Узбекской ССР (1982) и статье В. Е. Чуба и др. (2008).

Селевые потоки в горных районах Узбекистана распространены повсеместно; густая и активная сеть селевых русел развита в горном обрамлении Ферганской долины, главным образом – в зоне адыров. В связи с преобладанием низких и средних гор (1000–3000 м) господствуют дождевые сели, составляющие около 90% всех случаев схода. Около 4% случаев приходится на потоки смешанного генезиса (сочетание снеготаяния с дождем) и около 6% – на прочие (прорыв плотин, снежных завалов, ледниковых перемычек и др.). Селевые потоки дождевого генезиса в большинстве случаев формируются осадками 20 мм/сутки и более.

Возникновению ливневых селей благоприятствует степной и полупустынный характер растительности, ее разреженность, наличие эродированных участков склонов. Насыщение водного потока обломочным материалом осуществляется главным образом за счет: 1) плоскостного смыва и размыва оголенных и полузадернованных склонов, дающих

преимущественно мелкозем; 2) размыва скоплений обломочных масс в тальвегах и руслах, обеспечивающего поток преимущественно грубыми обломками. Следы этих процессов отчетливо видны непосредственно после схода селей. Например, после ливневого селя на р. Кенколсай (южный склон Кураминского хребта) 18 августа 1966 г. склоны бассейна выглядели перепаханными из-за эрозионных борозд и вырванных кусков дернины; почва была смыта на 5–8 см (И. Н. Степанов, 1969).

При сочетании активного снеготаяния и значительных осадков формируются мощные паводки и селевые потоки. В подобных условиях возникли многочисленные селевые потоки 7–8 апреля 1959 г. в хребтах Западного Тянь-Шаня и ряде других (М. П. Рыбкина, 1962; А. А. Яблоков, 1961). Максимальная температура воздуха поднялась за 5 дней до 20–25°C; обложные дожди завершились ливнями – в бассейне р. Ангрен 7 и 8 апреля выпало 109,3 мм. Максимум осадков находился близ уровня сезонной снеговой линии. Снег бурно таял (60 см за два дня), срывался в виде мокрых лавин, частично смывался. Переувлажнение грунтовых масс на склонах близ границы снега привело к их сползанию и срыву. Снежные лавины и оползни в руслах рек служили временными плотинами, прорыв которых давал начало селевым потокам. Сели, сформированные дождями в период интенсивного снеготаяния, отмечены также 28–29 апреля 1967 г. в Ферганской долине и 7–11 марта 1969 г. в Нуратинском хребте.

В горных областях Узбекистана господствуют несвязные селевые потоки, по составу преимущественно грязекаменные. С высотой гор, с возрастанием уклонов речных русел и сменой горных пород меняется и состав селей. В низкогорьях, где очагами твердого питания селей служат преимущественно лессовидные и песчано-глинистые породы, в составе селевой массы часто преобладает мелкозем. Это потоки низкой плотности, грязевые и грязекаменные по составу; значительную часть их можно отнести к классу селевых паводков. В среднегорьях, где состав селеобразующих пород более пестрый, формируются собственно грязекаменные потоки. В высокогорной зоне, где господствуют скальные и полускальные породы в составе селевой массы, преобладают грубые фракции; здесь формируются преимущественно водокаменные сели.

Селеопасный период в Узбекистане в целом приходится на весенне-летние месяцы с максимумом селевой активности в мае. Период наибольшей селевой опасности приходится на апрель-май, основного селеопасного периода – на апрель-июль. Сход селей возможен в течение всего года.

Повторяемость селей высока в Ферганской долине – один раз в 1–3 года. В отрогах Гиссаро-Алая она меняется от столь же частой до редкой (один раз в 4–10 лет и реже). Потоки западных отрогов Тянь-Шаня характеризуются редкой повторяемостью. В наиболее активных селевых бассейнах сход селей возможен от 4 до 8 раз в течение года.

Высокая активность селевых процессов в Узбекистане в значительной мере обязана хозяйственной деятельности. В результате длительной исторической эксплуатации леса в среднегорьях были истреблены полностью или преобразованы в антропогенные редколесья. Систематический перевыпас, распашка крутых склонов привели к широкому развитию эрозии – 88% площади склонов эродированы. «Чаще всего селевые потоки наблюдаются в наиболее плотно заселенных, а поэтому сильно эродированных местах». (Ф. К. Кочерга, 1965, с. 145). Мелкие селевые потоки зарождаются и в настоящее время в пределах сельскохозяйственных угодий – на пашне, где обработка ведется вдоль склона, и на деградированных пастбищах.

Сход селей – особенно крупных – в освоенных районах сопровождается значительным ущербом. От селей страдают города Наманган, Андижан, Фергана, населенные пункты, оросительные каналы, железные и шоссейные дороги, орошаемые земли. Селевым потоком 28–29 апреля 1967 г. в бассейне р. Кугарт (восточная Фергана) были разрушены железнодорожное полотно на протяжении 0,2 км, один железнодорожный и три автодорожных моста, занесены выносами сельскохозяйственные земли, регулярный канал, часть территории г. Джалалабад (М. М. Маматкулов, М. Ю. Юсупов, 1969). Селевые потоки в бассейне р. Шахимардансай 29 мая – 13 июня 1977 г. разрушили 15 населенных пунктов, 20 школ, 18 больниц, 1300 км оросительных каналов.

Активная защита от эрозии и селей в Узбекистане ведется с последней четверти XIX в. Она началась с мелиорации селевых бассейнов путем террасирования и лесопосадок на склонах в сочетании со строительством

небольших запруд в руслах близ г. Самарканда и в Ферганской долине. За 35 дореволюционных лет было обработано таким образом 2,6 тыс. га земель. Работы приобрели широкий размах в 30–40-е годы XX в. и позднее. За 35 лет (1927–1962) облесением было охвачено 150 тыс. га земель. С 60-х годов начали создаваться системы селеводохранилищ со сбросными трактами, обеспечивающими задержку твердой составляющей селей и использование осветленных вод для орошения. Селехранилища строят одиночные или «региональные», когда нейтрализуется целая сеть селевых бассейнов одного участка склона.

Таджикистан. Территория республики почти полностью занята горными сооружениями Гиссаро-Алая и Памира, наиболее значительными по абсолютной и относительной высоте в странах СНГ. Первые сведения о ливневом селе в районе г. Пенджикент относятся к 1873 г. (И. И. Луценко, 1934). Систематический учет селепроявлений организован с 1947 г. Обобщения по селевым явлениям на территории Таджикистана, включая обзорные карты, представлены в книгах М. Р. Якутилова (1966), В. Ф. Шарабаева и С. Ашурова (1972), в Атласе Таджикской ССР (1968), в выпуске Ресурсы поверхностных вод СССР, посвященном бассейну р. Амударьи (1971), и в книгах О. В. Тукуева (2002) и А. А. Яблокова (2009).

Основные закономерности распространения селей в связи с их генезисом отражены на карте, составленной Ю. С. Усковым. (Атлас Таджикской ССР, 1968). В низкогорье и среднегорье (до 2000 м) формируются дождевые сели, преимущественно весной и в начале лета. В высокогорьях селеопасный период смещен на вторую половину лета; в Гиссаро-Дарвазе в качестве основных причин формирования селей указаны ливни и интенсивное снеготаяние, на Западном Памире – интенсивное снеготаяние и комплекс ледниковых процессов. Конкретизируем эту общую схему результатами исследования по отдельным регионам.

Северный Таджикистан – участки Кураминского и Туркестанского хребтов – составляет часть горного обрамления Ферганской долины. Здесь распространены преимущественно грязекаменные несвязные селевые потоки низкой плотности (100–1300 кг/м³), повторяемостью каждые 2–3 года. Селеопасный период продолжается с февраля по

сентябрь, период наибольшей опасности – апрель–май. Генезис селей – дождевой; часть селей формируется при сочетании снеготаяния с сильными дождями.

Результаты исследований бассейна р. Зеравшан (Формирование..., 1987) позволяют выделить две зоны селеформирования. В нижней (до высоты 3500 м) господствуют дождевые сели и смешанные – с участием снеготаяния, селеопасный период продолжается с марта по июль, селевые потоки по составу преимущественно грязекаменные. Верхняя зона занимает пригребневые части хребтов с современным оледенением. Здесь формируются дождевые и ледниковые сели, селеопасный период сдвинут на вторую половину лета (июль–август), селевые потоки по составу водокаменные и грязекаменные. Для бассейна р. Зеравшан характерны три типа селевых бассейнов: 1) склоновые (элементарные), располагаются на склонах крутизной 30–40°, в эрозионных врезках или на плоских склонах с дельювиальным чехлом; длина в пределах 1 км, объем единовременных выносов 2–5 тыс. м³; 2) малые селевые бассейны – площадь 2–4 км², длина временного водотока 2–4 км, средний уклон водотока 300–400‰. Это молодые эрозионные формы, заложенные в бортах долин, часто в зонах тектонических разломов, со ступенчатым продольным профилем. Повторяемость селей высокая (один раз в 1–3 года), объем единовременных выносов 5–10 тыс. м³; 3) крупные селевые бассейны – площадь 40–60 км², длина водотока 10–15 км, средний уклон водотока 100–200‰. Занимают зрелые речные долины. Конусы выноса не характерны, отложения селевых масс нередко завершаются в среднем и нижнем течении. Повторяемость селей низкая – один раз в 30–50 лет; объем единовременных выносов 10–20 тыс. м³. Основным механизмом зарождения селей, характерным для всех типов селевых бассейнов, служит эрозионный – размыв накоплений обломочных масс в русле водными паводками.

В высокогорном Западном Памире возрастает относительная роль снеговых и ледниковых селей. Сведения о прошедших здесь ледниковых селях свидетельствуют о двух особенностях: период их схода ограничен

июлем-августом; механизм формирования чаще всего связан с обрушением льда на конце ледника и временной закупоркой подледникового стока. В формировании селей участвуют и лавинные снежники.

Выделяются три высотных зоны с преобладанием разных генетических типов селей: 1) низкая, от подножья хребтов до 4200–4400 м, основная причина селей – снеготаяние и весенние дожди; основной период схода селей – с апреля по июнь; 2) средняя – до высоты 5000–5300 м; основная причина селей – таяние снежников, основной период схода селей июнь-июль; 3) верхняя – выше 5000–5300 м; господство ледниковых селей. Таким образом, выделяется целая зона с господством снеговых селей, очагами формирования которых служат летние лавинные снежники, залегающие в кулуарах, врезках, логах. Формирующиеся здесь селевые потоки по объему выноса преимущественно мелкие и средние (от 3–5 до 20–40, иногда до 90 тыс. м³).

Помимо климатически обусловленных – дождевых, снеговых, ледниковых – селей в Таджикистане возможны и сейсмогенные. Один из таких селей сформировался 10.VII. 1949 г. в р. Обидара-Хауз во время Хаитского землетрясения, вследствие выброса воды из группы горных озер.

Механизм зарождения широко распространенных дождевых селей связан со смывом при ливнях и оплыванием грунтов при обложных дождях. При этом в условиях недостаточного увлажнения очень велика роль предварительного увлажнения грунтов. В экстремальные по увлажнению годы возникают связные селевые потоки оползневой механизмы зарождения, подобно событиям весны 1969 г.

По составу на территории Таджикистана преобладают грязекаменные селевые потоки, реже – водокаменные, иногда – водоледяные; по типу движения – несвязные селевые потоки, связные сели редки. Плотность селевых потоков, как правило, низкая в зоне низкогогорья и среднегорья и высокая – в высокогорьях. Максимальные расходы колеблются от 20–30 до 400–600 м³/с; объемы выноса составляют десятки, реже – сотни тысяч кубических метров.

Сход селей в целом по республике возможен практически в течение всего года, период схода основной массы селей – с марта по сентябрь, максимум случаев приходится на май.

Селевые процессы в зонах низко- и среднегорья усилены последствиями хозяйственной деятельности – истреблением лесов, повышенной эрозией сельскохозяйственных земель. К этому добавляются случаи формирования техногенных селей вследствие прорыва водохранилища. Такой селевой паводок с трагическими последствиями (в кишлаке Саргазан погибло 33 человека, разрушены 53 дома, бетонный мост) возник 16 марта 1987 г. в предгорной зоне в районе г. Дангара при прорыве грунтовой плотины временного водохранилища в долине р. Саргазан – притоке р. Таирсу (А. Иванов-Смоленский, 1987).

Масштаб реализации противоселевых мероприятий в целом незначителен. Террасированием и лесопосадками на площади 2,5 тыс. га, которые начались в 1932 г., охвачен пока лишь один бассейн р. Сельбурсай на южном склоне Гиссарского хребта. Для защиты каналов в Ферганской долине и долине р. Зеравшан сооружены дамбы, селедуки, дюкеры.

Киргизия. Киргизия – горная республика, занятая преимущественно хребтами Тянь-Шаня. Изученность селей относительно слабая. Из крупных селепроявлений прошлого отмечены события 1878 г. в бассейне оз. Иссык-Куль и 1913 г. в бассейне р. Талас. Систематическое изучение селевых явлений началось в 60-х годах XX в. Сводные данные о селях представлены в монографиях А. Т. Ильясова (1969) и Ресурсы поверхностных... (1969), а также в Атласе Киргизской ССР (1987).

В Киргизии выявлено 3103 селеопасных рек и саёв. Распространение и режим селей носят зональный характер. В предгорьях и низкогорьях, до высоты около 2500 м формируются дождевые (ливневые) сели. Сход их возможен в течение всего года; основной селеопасный период – с марта по октябрь. В среднегорной зоне (2500–3500 м) образуются преимущественно селевые потоки смешанного генезиса – снегодождевые; основной селеопасный период – с апреля по сентябрь. Зона формирования селей ледникового генезиса объединяет территории, занятые современным оледенением и моренами верхнечетвертичного возраста. Нижняя граница ее проходит на высотах 3000–3500 м; основной селеопасный период – с июня по август. В целом по республике основной селеопасный период приходится на апрель-август (95% случаев схода).

Повторяемость селей меняется с генезисом и в широтном направлении. Ливневые сели сходят один раз в 1–2 года, иногда – несколько раз в году. Межселевой интервал снегодождевых селей возрастает с запада на восток от 3–5 до 6–10 лет, ледниковых – от 3–5 до 11–15 лет.

Помимо трех главных генетических типов селей Киргизии – дождевых, снегодождевых и ледниковых – отмечены и другие. Лимногенный селень образовался при прорыве завального озера Яшинкуль 18 июня 1966 г. Водоснежные потоки периодически сходят на северном склоне Киргизского хр., в районе перевала Тюя-Ашу. На реках Караункюр, Чичкан, Афлатун, Кугарт и др. наблюдался сход «снежно-ледовых» селей, возникающих вследствие разрушения лавинных завалов.

В целом по республике, соотношение числа случаев схода селей разного генезиса следующие: дождевые – 80%, ледниковые – 12%, снегодождевые – 7%, прочие – 1%.

Дождевые сели образуются при количестве осадков более 30 мм за дождь.

По составу селевые потоки Киргизии преимущественно водокаменные, несвязные, низкой плотности; часть их относится к категории селевых паводков. Объемы выносов селей в небольших бассейнах составляют 3–5 (до 10) тыс. м³; в более крупных бассейнах они измеряются десятками тысяч кубических метров. Наибольшие значения единовременных объемом выноса достигают 1 млн м³.

Селевые процессы в Киргизии усилены последствиями хозяйственной деятельности. Помимо обычной для всей Центральной Азии активизации эрозии и селей вследствие деградации почвенно-растительного покрова были случаи возникновения селей вследствие прорыва некачественно построенных грунтовых плотин. От селей страдают дороги, сельскохозяйственные земли, ирригационные сооружения, промышленные предприятия, поселки и города. Меры защиты от селей реализованы в ограниченном масштабе; использованы террасирование склонов, строительство селехранилищ, габионных запруд.

3.5. СЕЛЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЗА РУБЕЖАМИ РОССИИ И СТРАН СНГ

Зарубежная Европа. *Альпы* характеризуются самым значительным уровнем селевой активности в регионе. Условия селеформирования здесь вполне благоприятны: высокогорный рельеф, наличие значительного современного оледенения, обильные осадки с суточным максимумом до 200–650 мм, сильно измененные ландшафты в связи с высокой освоенностью территории (всюду снижена верхняя граница леса). Непосредственными причинами зарождения селей служат ливни, сочетание ливней и снеготаяния, прорывы озер и внутриледниковых емкостей. В Альпах выявлено около 10 тыс. селевых бассейнов.

Во *Франции* селеопасные территории занимают 8% площади гор. Значения селеформирующих осадков дождевых селей составляют от 30 до 200 мм за сутки или за дождь. О параметрах селевых бассейнов можно судить по данным для бассейна р. Арк (Северо-Французские Альпы): площадь – 6–21 км², длина водотока – 6–10 км, средний уклон водотока – 210–320‰. Селевые потоки формируются летом (июль–август) вследствие грозных ливней или весной (май–июнь), в период максимума снеготаяния, сопровождаемого дождями. Соотношение количества селепроявлений в первом и втором периодах на примере селевого бассейна Понтамафрей (бассейн р. Изер) составляет 2:1. Сведения по объему выноса обломочных масс ограничиваются значениями 150–300 тыс. м³; средняя повторяемость составляет один случай в 5–6 лет. По составу преобладают грязекаменные сели.

В Южно-Французских Альпах характерны те же периоды селепроявлений – весенний и летний. Приведем два примера.

1. Р. Гиль (бассейн р. Дюранс), 13.06.1957 г. Выдающийся ливень (202 мм/сут.) усилил снеготаяние в горах, сошли многочисленные лавины, а также оплывины; средний расход достигал 1000 м³/с; перенесены глыбы весом до 35 т. Были разрушены населенные пункты, полотно железной дороги, смыты почвы.

2. Р. Рабицу (бассейн р. Дюранс), 21.08.1954 г. Сель образовался вследствие грозových ливней (суммарные осадки – 34 мм), которые последовали за двухсуточными дождями (суммарные осадки – 103 мм). Разрушены два пролета моста.

Известны многочисленные случаи прорывов озер, подпруженных ледниками (Ю. Б. Виноградов, 1977). Часть таких прорывов порождает селевые потоки. Реже сели образуются вследствие прорыва внутриледниковых емкостей.

Условия селеформирования и масштабы селевых явлений в *Австрийских Альпах* близки к таковым во *Французских Альпах*. Около 10% площади гор занято селевыми бассейнами, которых насчитывается 4135. Основными метеорологическими причинами образования селей и паводков служат: ливни, интенсивное снеготаяние, сопровождаемое ливнями в конце весны – начале лета; большие продолжительные осадки, формирующиеся при встрече холодных и теплых (средиземноморских) воздушных масс над горами – редкие, но захватывающие значительные площади явления. Вклад каждого из трех типов метеорологических условий селеформирования примерно одинаков. Реже образуются селевые потоки ледникового генезиса. Сход селей – из числа зарегистрированных – приходится в большинстве случаев на июль-август, селепроявления возможны с июня по ноябрь.

В связи с высокой густотой речной сети площади селевых бассейнов невелики, что обуславливает и ограниченные объемы селевых выносов. В подавляющем большинстве случаев значения последних лежат в пределах 500–600 тыс. м³, доходя в редких случаях до 1,5 млн м³. Наиболее мощные сели образуются при прорыве приледниковых озер в высокогорьях.

Среднее значение повторяемости селей – по разрозненным данным – можно оценить как один раз в 10–12 лет; крайние значения дают межселевой интервал в 2 и 50 лет. Крупные катастрофы, вызываемые паводками и селями, повторяются каждые 20–30 лет, а две крупнейшие разразились в 1882 и 1965–1966 гг. В Предальпах селевой процесс менее активен и связан с выпадением ливней.

В Центральных Альпах *Италии* основные осадки выпадают в мае и ноябре, а также в форме грозových ливней жарким летом. В эти отрезки времени характерны и селепроявления, с предшествующим увлажнением или без него.

Приведем примеры схода селей в верхней части долины р. Адда, притоке р. По (F. Guzzetti, G. Crosta, 1992). Катастрофические сели прошли в 1983 и 1987 гг., жертвами которых стали, соответственно, 17 и 29 человек. Селевой поток 1983 г. был сформирован грозowymi ливнями 14–16 и 21–23 мая, с количеством осадков 90–180 мм; им предшествовали осадки величиной 100–270 мм. Сели 1987 г. образовались вследствие сильных ливней средней величины 180 мм. Помимо собственно селевых потоков сходили и селевые паводки, которые возникли при прорыве оползневых и обломочных плотин.

В Доломитовых Альпах *Италии* дендрохронологическим методом была определена повторяемость селей, которая составила от 6 до 13 лет.

В *Карпатах*, хотя и значительно сниженных по сравнению с Альпами условия селеформирования остаются вполне благоприятными; отметим широкое участие в строении гор флишевых пород и сильные дожди – до 200–300 мм/сут. В румынской части Карпат селевые потоки, оползни и обвалы активизировались после сильных дождей (1952, 1957, 1991 гг.), а также после сильных землетрясений (1940, 1977, 1986 гг.) (Bâlțeanu, 1997). Активизация экзогенных процессов после сильных дождей повторяется каждые 5–7 лет, особенно в пределах сейсмогенной области Вранч юго-восточной части Карпат. По объему выносов селевые потоки преимущественно мелкие. На территории Карпат господствует средняя степень селевой активности.

Средиземноморскую область образуют горные системы Пиренейского, Апеннинского, Балканского полуостровов. Их объединяет общность условий селеформирования: преобладание среднегорного рельефа и слабоустойчивых к эрозии горных пород, субтропический климат с сухим летом и влажной зимой с частыми и интенсивными осенне-зимними ливнями; господство антропогенно-модифицированных и

антропогенных ландшафтов. Селевая активность преимущественно средняя, реже – слабая или значительная. Остановимся на примерах селепроявлений.

Пиренеи, центральная часть (область Арагон, Испания), 7 августа 1996 г. Селевой бассейн Арас площадью 20 км² был застроен системой запруд (42 шт.) в основном русле и в устьях притоков, а на конусе выноса был построен кемпинг. Небывалые для этой местности ливни с суммой осадков более 215 мм сформировали селевой поток, который разрушил систему запруд и обрушился на кемпинг. Расход потока составлял от 300 до 600 м³/с, объем вынесенных обломочных масс – 110 тыс. м³. Погибли 86 человек.

Апеннины. Основными источниками твердой составляющей селей служат оползневые массивы, ледниковые отложения, делювий (F. Guzzetti..., 1992). Сели, формирующиеся на делювиальных склонах – мелкие (объем выносов – несколько тысяч м³), на оползневых и занятых ледниковыми отложениями – крупные. Селевые потоки часто вызываются летними и осенними конвективными ливнями, с радиусом от 2 до 15 км и с интенсивностью до 100 мм/час. События 3–7 ноября 1966 г. связаны с циклоническими осадками в северных Апеннинах, сумма которых составила от 80 до 240 мм. От паводков и селевых потоков пострадали 750 городов и селений. Погибли более 100 человек, причинен огромный ущерб хозяйству.

В *Греции* одним из важных факторов современной активизации эрозионных и селевых процессов служат лесные пожары (P. Stefanidis, K. Kotoulas, 1992). Площадь лесного покрова Греции вследствие пожаров с 1928 по 1990 гг. сократилась с 32 до 18%. Ближайшие после пожара сильные ливни значительно увеличивают процессы смыва и размыва на водосборе и вынос обломочных масс на равнинные территории. В процессе денудации участвуют как водные потоки, так и селевые паводки и селевые потоки. Величина денудации в бассейнах, охваченных пожаром почти полностью, возрастает вдвое.

Британские острова. Преобладание низко- и среднегорий, относительно равномерное распределение осадков в течение года мало благоприятствует селеформированию. Однако почти полное уничтожение

лесов в XVII–XIX вв. (лесистость составляет 9%) активизировало селевой процесс. Это следует из оценки возраста селевых отложений (методом лишенометрии), который находится в пределах последних 250 лет (Innes, 1983). По генезису селевые потоки природно-антропогенные (дождевые). Селевые бассейны в большинстве случаев представлены мелкими склоновыми формами; объем выносов ограничен 300–500 м³. Сход селей чаще бывает зимой; к этому же сезону относится и максимум стока наносов. По составу отмечены и грязекаменные и водокаменные сели. Пример формирования селей, вызванных сильными осадками, приводит А. Кеннет (А. Kenneth, 1987). Сели прошли 2–3 сентября 1983 г. в районе горы Сноудон (Сев. Уэльс) после обильных осадков (118,4 мм; максимальная интенсивность 39,3 мм/час). Селепроявлению предшествовало аномально сухое и жаркое лето. Сели сформировались в руслах временных водотоков, в нижней части склона долины, занятого ледниковыми отложениями. Аккумуляция селевых выносов в форме гряд и конусов происходила у подножья склона. Селями были разрушены участки дорог и строения.

Помимо природно-антропогенных селей, создающих общий фон селевой активности на Британских островах отмечены и собственно антропогенные (техногенные). Самый известный из них сформировался 21 октября 1960 г. на терриконе угольной шахты, сложенном пустой породой близ с. Аберфен, южный Уэльс (Б. А. Болт и др., 1978). Грунты пришли в разжиженное состояние и двинулись с большой скоростью в форме селеподобного потока к подножью, где располагалось селение. Погибли 144 человека.

Скандинавские горы располагаются в пределах умеренного и субарктического поясов. Распространены снеговые и дождевые сели с господством снеговых, преимущественно в осевой и западной частях гор. На севере (район железной дороги Кируна – Нарвик) водоснежные потоки сходят в конце мая – начале июня, за 1916–1995 гг. отмечено семь случаев схода. В центральной и южной частях Скандинавии большая часть водоснежных потоков сходит в мае, однако они возможны в течение всего года. Причиной служат глубокие оттепели зимой, вызы-

ваемые тепляющим влиянием Северо-Атлантического течения. Так, например, 27–28 января 1981 г. в районе населенного пункта Рана температура воздуха поднялась от отрицательных значений до 6° и прошел дождь (68 и 46 мм). В результате схода водоснежных потоков погибли 5 человек, разрушено четыре дома, перекрыты железная и шоссейная дороги (Hestnes, F. Sandersen, 1987). Средняя повторяемость водоснежных потоков составляет каждые 10 лет.

Известные случаи дождевых селей были вызваны осадками от 31 до 276 мм/сут. Объем выноса обломочных масс, как правило, незначителен – от 4 до 10 тыс. м³. Период схода селей – с мая по ноябрь, с максимумом в июне-июле. Оценочные характеристики повторяемости составляют в центральной Скандинавии каждые 12–50 лет, в северной – 25–60 лет. Приведем пример последствий шторма с осадками до 400 мм в центральной части Швеции, в горах Фулуфель 30–31 августа 1997 г. Количество измеренных осадков на плато составило 276 мм. Шторм вызвал паводки и сели, которые сформировались на залесенных склонах. Расход в ручьях изменился в течение дождя от 2 до 300 м³/с; ширина зон эрозии вдоль русел возросла до 50–100 м. Взвешенные частицы р. Делольвен сделали воду грязной и бурой по цвету на расстоянии около 300 км. (R. Nyberg, A. Rapp, 1998).

Архипелаг Шпицберген расположен в Арктическом поясе, однако испытывает тепляющее воздействие Северо-Атлантического течения. Здесь отмечены как снеговые, так и дождевые сели. Водоснежный поток 11 июня 1953 г. в пос. Лонгиербен привел к гибели трех человек. Дождевые сели фиксировались в июле-августе 1972, 1981 и 1989 гг.; селеформирующие осадки – от 31 мм/сут. Объем выносов ограничен 6,4 тыс. м³; средняя повторяемость составляет каждые 8–10 лет.

О. Исландия. Специфику селевого процесса создает сочетание ледниковых покровов и современного вулканизма. Здесь формируются три генетических типа селевых или селеподобных явлений: вулканогенные (йокульлаупы), ледниковые, снеговые. Йокульлаупы – местное название вулканических паводков или селеподобных потоков. Причиной их возникновения служит подледное извержение вулкана с последующим

таянием льда. Талые воды накапливаются в кальдере вулкана и затем прорываются. Наиболее значительные по масштабу явления вызывают извержения вулкана Гримсветн, расположенного под самым крупным ледниковым покровом Ватна-Ийюкудль (толщина льда над вулканом около 500 м). После извержения 1934 г. ширина потока воды с камнями и ледяными глыбами достигала 8–9 км, средняя глубина – 3–5 м (максимальная – 15–20 м), средняя скорость 2 м/с, средний расход 80 тыс. м³/с. Подобные потоки образуют валы высотой до 30 м и длиной в несколько километров, прокладывают новые долины в предгорьях, смещают русла рек. Загрязнения воды в море вследствие выносов обломочного материала прослеживается до 130–200 км от берега и до 50 км – вдоль него. Повторяемость йокульлаупов – каждые 5–10 лет. Такие потоки, согласно типологии, относятся к категории ультраселевых.

Ледниковые сели в Исландии образуются вследствие прорыва ледниково-подпрудных озер. Повторяемость ледниковых паводков и селей – каждые 5–10 лет.

Водоснежные потоки исследованы на северо-западе острова, но характерны для всей территории. Их возникновение связано со снеготаянием весной и с активной циклонической деятельностью зимой. В 1988 г. потоки разрушили 20 домов (G. G. Tomasson, E. Hestnes, 2000).

Зарубежная Азия. Переднеазиатские нагорья (от Турции до Афганистана). В целом, в связи с низким увлажнением, преобладанием средневысотных гор и плосковершинных нагорий, активность селевых процессов снижена. На большей части территории, за исключением Эльбурса и Копетдага, степень селевой активности низкая. В *Турции* селепроявления последних лет с человеческими жертвами и ущербом отмечены: в ноябре 1983 г. в районе г. Измир, в декабре 2003 г. в районе г. Анталья, в ноябре 2006 г. в юго-восточной Турции, в сентябре 2009 г. в районе г. Стамбула. Причиной чаще всего служат сильные дожди, когда выпадает от месячной до шестимесячной нормы осадков. В *Сирии* известны два случая селепроявлений с катастрофическими последствиями: в сентябре 1909 г. к югу от г. Хомс и в октябре 1937 г. на горном плато Калямун к северо-западу от Дамаска (Н. Мусли, 1954).

В условиях аридного климата *Афганистана* господствуют пустынные и полупустынные ландшафты. Сумма годовых осадков – от 50 до 600 мм. Величина ливней достигает от полумесячной до полугодовой нормы осадков. Максимум осадков приходится на весну (март–апрель); в это время сходят и значительные сели. Например, в марте–апреле 1969 г. отмечен массовый сход селей (В. И. Титов, 1976). Он был подготовлен многоснежной зимой, длительным залеганием снега и выпадением дождей.

Юго-западная Азия. Климат отличается большой засушливостью. Осадки выпадают в виде редких ливней, нередко – один раз за несколько лет. Сток осуществляется по сухим руслам (вади). Кратковременность схода, ограниченная насыщенность твердой фазой и форма воздействия на ложе позволяют отнести большую часть таких потоков к селевым паводкам. Условия формирования их в *Йемене* охарактеризованы А. И. Квасовым (1984): основные осадки выпадают в марте, апреле, августе; максимальный слой осадков за ливень – 70 мм; последние годы сходы селей с катастрофическими последствиями – 1977, 1981.

Центральная Азия ограничена с востока примерно линией меридиана 104° в. д., к востоку от которой уже проявляется воздействие воздушных масс Тихого океана. В *Монголии* можно выделить два типа селеопасных районов: район оз. Хубсугул и горные участки пустыни Гоби. Район оз. Хубсугул – продолжение Байкальского рифта с его контрастным рельефом. Вдоль западного берега озера (зона разлома) – многочисленные селевые русла с конусами выноса у подножья. Годовые осадки – 400–600 мм; 80% из них выпадает в теплый период. В июле 1971 г. здесь сошли селевые потоки при суточном максимуме осадков 70 мм. (А. Е. Черкасов и др., 1972). Им предшествовали затяжные дожди. В горных районах пустыни Гоби селевой процесс развивается в бассейнах сухих русел – сайрах – при выпадении ливней. В горных участках русел потоки имеют вид водокаменных (турбулентных) селей, у подножий гор – селевых паводков.

В провинции Ганьсу (*Китай*) располагается восточная часть хребта Нань-Шань; селеопасные площади занимают 15% территории провинции (Debris flow..., 1982). Ограниченные осадки компенсируются пол-

ным отсутствием растительности на склонах гор и обилием лессовых отложений. Селевые потоки дождевые, по составу преимущественно грязевые и грязекаменные. 70% селей проходит в июне-августе с пиком в августе. Повторяемость достаточно высокая: в разных видах селевых бассейнов она составляет один раз в 2–3 и в 7–8 лет.

Гиндукуш, Каракорум, Гималаи, Сино-Тибетские горы. Это пояса высокогорных систем Центральной Азии, несущих современное оледенение. Преобладающие генетические типы селей – ледниковые и дождевые, встречаются и снеговые. Поскольку горные хребты часто служат климаторазделами, на их макросклонах могут преобладать разные генетические типы селей: на южном макросклоне *Гималаев* преобладают дождевые сели, на северном – ледниковые. Вторая особенность селевого процесса региона – высокий уровень его активности. Здесь сходят селевые потоки рекордные по объему выносов и повторяемости. Например, селевые потоки ледникового генезиса на р. Гусян (*Тибет*), с 1953 г. сходят ежегодно; в течение сезона 1964 г. они сошли 85 раз; объем выносов в этом бассейне достигает 10 млн м³. Длина пути селевого потока на р. Боку составила более 50 км; максимальный расход составил в верховьях 15 тыс. м³/с, на расстоянии 50 км – 2 тыс. м³/с. В *Каракоруме* известны многочисленные случаи селевых паводков, образованных вследствие прорыва временных озер, подпруженных ледниками. В восточной части *Сино-Тибетских гор* отмечается очень густая сеть селевых русел, что отражено на карте селевых явлений провинции Сычуань в масштабе 1:1 млн (*Map of debris... , 1997*). Здесь выявлено 3100 селевых русел.

К югу от Сино-Тибетских гор, в пределах *Юннаньского нагорья* известен район с рекордными характеристиками дождевых селей. Это бассейн р. Цзянцзя со 150 селевыми бассейнами. Повторяемость селей – от 1 до 10 случаев за год, максимум – 28 случаев. Объем выносов в целом по бассейну реки составляет 20–30 млн м³ за год. Характерный период схода селей – с мая по октябрь; он соответствует влажному сезону, когда выпадает 80–90% осадков годовой суммы (1200 мм). В условиях обильного водонасыщения грунтов достаточно 20 мм осадков, чтобы вызвать сход селя. Причиной аномально высокой селевой активности служит сочета-

ние благоприятных факторов: приразломное расположение, господство глинистых сланцев, мощная кора выветривания, высокое увлажнение, непрерывное в течение 300 – 400 лет сведение лесов.

Индия. Условия селеформирования в горных районах Индии также вполне благоприятны. Причины нестабильности склонов в Гималаях – складчатая раздробленность горных пород, активное химическое выветривание, сильные землетрясения. Активизации экзогенных процессов способствует антропогенное воздействие. Например, при строительстве дорог в горах на 1 км дороги перемещается от 50 до 500 тыс. м³ грунта (Равиндер К. Панде, 1989). Эффект воздействия хозяйственной деятельности отчетливо проявляется за исторический отрезок времени. В штате Пенджаб (подножье хр. Сивалик) земли используются для земледелия и скотоводства в течение 5 тыс. лет. Перевыпас и распашка склонов привели к смене муссонных листопадных лесов растительностью сухой степи с колючими кустарниками и к активизации деятельности селевых и временных водных потоков, выносящих массу обломочного материала к подножью хребта. «За 100 лет площади плодородных равнин, подверженных влиянию селевых потоков возросли с 18 до 1800 км²» – в 100 раз! (А. Г. Суцевский, 1974).

Регион Восточной Азии образуют горы Северо-восточного Китая, Корейского п-ова, Центрального и Южного Китая, п-ова Индокитай. Интенсивность селевого процесса в целом относительно низкая в связи с господством средних и низких гор. Однако в отдельных горных хребтах он активизирован за счет хозяйственной деятельности. Например, в средневысотных Пекинских горах (северо-восточный Китай) селевому процессу благоприятствует, помимо мощной коры выветривания и штормовых дождей обезлесение и деградация ландшафтов. На площади около 17 тыс. км² выявлено 705 селевых бассейнов (Zhong Dunlun a. oth., 2004). В центральной и южной частях Китая наблюдаются техногенные сели, формирующиеся в отвалах шахт и рудников (Жонг Дунлун и др., 1989). В Индокитае селевой процесс в целом мало активен, но активизирован последствиями хозяйственной деятельности. На юге Таиланда в ноябре 1988 г. интенсивные ливни

вызвали наводнения и массовый сход оползней и селей (R. P. Brenner, M. Wieland, 1992), в результате которых погибло 371 человек, разрушено 16 тыс. домов, пострадало более 3 тыс. км² сельскохозяйственных земель. Населенные пункты у подножья гор занесены слоем песка толщиной 1–2 м. Катастрофическому развитию событий, помимо ливней способствовали глубокое (до 10 м) выветривание коренных пород, а также замена лесной растительности на склонах плантациями каучуконосов.

Японские острова. Распространены три генетических типа селей: вулканогенные, дождевые, снеговые. Самые мощные, хотя и редкие потоки возникают при извержении вулканов. Максимальные параметры их за XVIII–XX вв. составили: длина – 80 км, объем выносов – 6–7 млн м³, ширина русла в нижнем течении – до 2 км. Дождевые сели – господствующий тип потоков. Их массовое распространение предопределено обилием легко эродируемых горных пород, широким распространением оползней, высокой сейсмичностью. Часто сели формируются в зонах действующих вулканов и оползней (Японские Альпы на о. Хонсю). Широкому развитию селевого процесса способствует также небольшая длина и большой уклон речных водотоков (В. И. Тевзадзе, 1975). Массовый сход селей происходит при обильных осадках, сопровождающих прохождение тайфунов (до 600 мм в сутки). Подобная ситуация сложилась в июне 1938 г., когда почти на всей территории Японии прошли сильные дожди. Сошедшие оползни и сели привели к многочисленным разрушениям и жертвам. В г. Кобе погибло 616 человек, и были разрушены тысячи домов.

Водоснежные потоки распространены ограничено. Наиболее крупный сошел 22 марта 1945 г. в г. Охозикара (северная оконечность о. Хонсю), разрушив 20 домов и убив 88 человек.

О. Тайвань характеризуется средней степенью селевой активности. Выявлено 485 селевых речек, по которым проходят дождевые сели. В большинстве случаев они формируются из оползней, при длительности дождя более 12 часов и сумме осадков более 150 мм. (Y. D. Cheng a. oth., 2000). Период схода селей – май-октябрь; это период прохождения тайфунов, на которые приходится 80% дождей.

Малайский архипелаг отличается большим количеством действующих вулканов и обилием жидких осадков, которые приносят

тропические циклоны. Генетические типы формирующихся здесь селей – вулканогенный и дождевой. Вулканогенные сели достигают параметров ультраселевых. В Индонезии длина крупных вулканогенных селей составляет от 24 до 38 км, ширина – до 4 км, объем выносов – до 100 млн м³. Сход таких потоков приводит к многочисленным жертвам и разрушениям. Наиболее активны вулканы Келуд и Гулунгунг; первый, извергался 27 раз за 100 лет (Ю. Б. Виноградов, 1980). Дождевые сели за последние годы в Индонезии отмечены в ноябре-январе: в ноябре 2000 г. на о. Суматра, в декабре 2002 и январе 2006 г. на о. Ява.

Благоприятные условия для формирования дождевых селей складываются на склонах вулканов после извержений, когда образуется покров рыхлых отложений и пепла. На склонах вулкана Пинатубо (Филиппины), который извергался в 1991 г., тайфуны в сентябре и октябре 1995 г. сформировали катастрофические селевые потоки. «Мощные потоки грязи и пепла со склонов вулкана Пинатубо практически уничтожили г. Кабалаиан, превратив его в грязевую пустыню. Погибли более 50 человек». (Бирман, Балашова, 1996, с. 76). Дождевые сели на Филиппинах отмечены за последние годы также в декабре 2003 г., в декабре и феврале 2006 г.

Северная Америка. Главной ареной селевой деятельности на материке служит система горных цепей Кордильер, однако селевой процесс проявляется и в средневысотных Аппалачах, и в северных территориях.

Аляска и Канадский арктический архипелаг. Господствуют снеговые сели (водоснежные потоки). Достаточно полно они были охарактеризованы в центральной части хр. Брукса, в районе перевала Этиган (L. J. Onesty, 1983). Средние значения параметров водосборов водоснежных потоков составляют: площадь – 3 км² (от 1 до 12 км²), длина водотока 2 км (от 1 до 5 км), средний уклон водотока 200‰ (от 90 до 340‰). Повторяемость (за последние 50 лет) составила один раз в 7 лет (от 3 до 11 лет). Известные даты схода приходятся на май–июнь. Сход водоснежных потоков отмечался также на Баффиновой Земле, на ледниковом куполе Барнса в июне-июле 1950 г. На о. Гренландия водоснежные потоки описаны в северо-западной и северо-восточной частях побережья.

Аляскинское землетрясение 27 марта 1964 г. вызвало формирование в береговых хребтах Аляски «лавиных селей» (Ю. Б. Виноградов, 1977) –

грязевых потоков на поверхности ледников, длина которых соизмерима с их шириной. Последнее обстоятельство позволяет отнести эти образования к категории оплывин.

В береговых хребтах северо-запада США и Канады, где развито мощное современное оледенение, характерны прорывы озер, подпруженных ледниками (Ю. Б. Виноградов, 1977). При этом возникают мощные паводки с максимальными расходами до 1,5–10 тыс. м³/с. Часть их трансформируется в селевые потоки. Крупные селевые потоки ледникового генезиса связаны с прорывом моренных озер или внутриледниковых емкостей. Выплеск 1,7 млн м³ воды из мореного озера в начале 1970-х годов сформировал селевой поток, который вынес около 3 млн м³ обломочных масс (Британская Колумбия, Канада). Подобное событие произошло около 300 лет назад (J. J. Claque a. oth., 1985). Другой пример ледникового селя 6 сентября 1978 г. в этом же регионе: потоком вынесено 175 тыс. м³ обломочных масс; аналогичные события имели место 32 и 53 года назад. Дождевые сели формируются, в частности, за счет наложения дождей, принесенных штормами на период снеготаяния.

Для восточных сниженных окраин Скалистых гор (провинция Альберта, Канада) характерны мелкие склоновые сели, формирующиеся на делювиальных склонах (В. Н. Luckman, 1981). Они выносят к подножью склона одновременно около 100–400 м³ обломочных масс; вызываются ливнями. Селевые потоки 4–6 августа 1969 г. сформировались осадками с суммой за дождь от 50 до 180 мм.

Около 1/3 части территории **США** относится к селеопасной. Она охватывает преимущественно горный Запад. Отметим основные особенности районов активных селепроявлений. Г. Лос-Анджелес лежит у подножья хр. *Сан-Габриэль*. Селевым процессам благоприятствуют сильные ливни (200–300 мм), лесные пожары на склонах хребта, расположение близ активного тектонического разлома. Селевые потоки 1914, 1934, 1938 гг. (декабрь–март) сопровождалась жертвами и значительным ущербом. Реализация системы мер защиты свела к минимуму отрицательные последствия схода селей.

В **Каскадных горах** формируются дождевые, ледниковые и вулканогенные сели, главным образом, на склонах потухших и действующих

вулканов. Общее благоприятное условие – обилие рыхлого обломочного материала ледникового и вулканического генезиса. На г. Рейнир (потухший вулкан), помимо современных дождевых и ледниковых селей выявлены следы ультраселевых потоков исторического времени. Один из них, сошедший около 500 лет назад, прошел расстояние в 65 км; двумя другими около 3000 лет назад вынесено около 300–400 млн м³ и 4 км³ обломочных масс. На г. Шаства (вулкан в стадии сольфаторной деятельности) средняя повторяемость селей составляет каждые 6 лет. На г. Бейкер (действующий вулкан) за последние 10 тыс. лет установлены следы схода 8 крупных селевых потоков. Минимальный объем выносов лежит в пределах от 1–2 до 40–50 млн м³, дальность пути – от 6 до 29 км. Последний по времени вулканогенный ультраселевой поток сформировался 18 мая 1980 г. на г. Св. Елены. Обрушение сектора вулканической постройки породило лавину обломочного материала, которая вытеснила воду из кратерного озера и трансформировалась в селевой поток. Поток прошел расстояние около 100 км и вынес в р. Колумбия 34 млн м³ наносов.

Менее масштабные селевые потоки образуются в пределах засушливых среднегорий США (*штаты Юта и Аризона*). В штате Юта (хр. Уосатч) селевые процессы усилились или зародились в 20–30-х годах XX в. как следствие хозяйственной деятельности – вырубки лесов, перевыпаса, пожаров. О масштабах процесса говорят следующие цифры: 4 селевых потока 1930 г. вынесли около 500 тыс. м³ обломочных масс. Притоки р. Колорадо (на территории национального парка Б. Каньон) являются селевыми; большинство порогов на реке обязано селевым выносам притоков.

В *Аппалачах* штормы с дождями высокой интенсивности приводят к массовому сходу селей. Таковы события августа 1940 г., августа 1969 г., июня 1995 г. (G. F. Wieszorek a. oth., 2004). Сильные ливни в 1972 г. привели к разрушению трех хвостохранилищ на угольных шахтах. Сформировавшийся селевой поток распространился на 24 км вниз по долине, разрушив 4000 домов и погубив 125 человек.

Южная Мексика и Центральная Америка. В этом регионе формируются дождевые и вулканогенные сели. Крупные, включая и катастрофические дождевые сели, вызываются тропическими циклонами. Ураган

«Митч» 27–30 октября 1998 г. охватил территорию Гондураса, Гватемалы, Сальвадора, Никарагуа. Один из крупных селей возник в привершинной части потухшего вулкана Казита (Никарагуа) (К. М. Scott, 2000). За предшествующие пять дней выпало почти 1000 мм осадков. Начавшись со срыва переувлажненного грунта, поток прошел 11 км, его объем увеличился в 9 раз – до 1 850 000 м³. Ширина потока достигла 1,0–1,3 км, что послужило причиной разрушения двух городков и гибели 2513 человек.

Вулканогенные сели последних десятилетий сформировались при извержении вулкана Ирасу (Коста-Рика) в 1963 г. и вулкана Колима (Мексика) в 2000 г.

Южная Америка. К селеопасной отнесено около 13% ее территории. Господствующий генетический тип селей – дождевой; он преобладает до 45° ю. ш., а южнее «дополняет» снеговые и ледниковые. Массовый сход дождевых селей произошел в районе г. Антафогаста в июне 1991 г., на побережье Тихого океана (Чили). Он привел к гибели 116 человек и многочисленным разрушениям.

Районы распространения селей ледникового генезиса окаймляет область мощного современного оледенения в Патагонии и отдельные изолированные участки высоко поднятых хребтов, несущих современные ледники. Основные механизмы зарождения ледниковых селей – прорыв приледниковых озер и обрушение фирново-ледяных масс. Один из прорывных паводков в январе 1934 г. разрушил 13 км трансандийской железной дороги к югу от г. Аконкагуа. Обрушение фирново-ледяных масс и трансформация его в ультраселевой поток на г. Уаскаран (Перу) в январе 1962 г. привела к разрушению 6 селений, унеся жизни 4 тыс. человек.

Снеговые сели возможны в Патагонии и на Огненной Земле, а также в высокогорье Главной Кордильеры. Участие талых снеговых вод в формировании дождевых селей отмечено в средней и северной части Чили.

В Южной Америке насчитывается 69 действующих вулканов, на 32 из которых зафиксирован сход вулканогенных селей. Наибольшей активностью отличается вулкан Катапахи (Эквадор): в XVI–XIX вв. здесь отмечен сход 21 вулканогенного селя, один из которых (в 1887 г.) был рекордным по длине пути, – около 300 км. Сход селя при извержении

вулкана Руис (Колумбия) в ноябре 1985 г. оказался самым катастрофичным, выносами потока был погребен г. Армеро и несколько других населенных пунктов: погибли более 23 тыс. чел.

Сильные землетрясения повышают селевую активность, вызывая формирование потоков катастрофического характера. Землетрясения 31 мая 1970 г. в Перу привело к обрушению блоков льда и горных пород с г. Уаскаран, которое трансформировалось в ультраселевой поток объемом более 20 млн м³. Под грязекаменной массой был погребен г. Юнгай и другие селения, погибло более 18 тыс. человек. Землетрясение в марте 1987 в Эквадоре, совпавшее с периодом высоких паводков на реках, привело к формированию мощного селевого потока на реках Саладо и Кока. Поток прошел около 100 км, переместив около 80 млн м³ обломочных масс и разрушив нефтепровод и дорогу.

Хозяйственная деятельность в целом незначительно влияет на селевую активность в Южной Америке. Отмечены случаи возникновения небольших природно-антропогенных селей в пределах освоенных территорий – к югу от Рио-де-Жанейро в Бразилии, в районе г. Кито (Эквадор), в окрестностях Каракаса (Венесуэла).

Расположение материка преимущественно в экваториальных и тропических широтах служит причиной того, что селепроявления на большей части территории возможны в течение круглого года. Периоды наибольшей селевой опасности меняются с севера на юг следующим образом: 1) северная часть (от 10° с. ш. до 6° ю. ш.) – весна и осень; 2) от 6° до 38° ю. ш. – лето; 3) от 30° до 40° ю. ш. – зима; 4) южная часть – весна и лето (О. И. Бударина и др., 2000).

Африка и Австралия. Материки практически не изучены в селевом отношении. По результатам анализа факторов селеформирования уровень селевой активности преимущественно низкий. В *Новой Зеландии* селевые процессы достаточно активны. Здесь формируются вулканогенные, ледниковые и дождевые сели. Вулканогенные сели порождались извержениями вулкана Руапеху в 1969, 1971, 1975 гг. Ледниковые сели отмечены на вулкане Руапеху (декабрь 1953 г.) и на леднике Франца-Иосифа, в Новозеландских Альпах Южного острова (декабрь 1965). До-

ждевые сели ограниченных масштабов сходят в периоды экстремальных ливней или длительных дождей. Средняя повторяемость их – один раз в 10–15 лет (А. Ю. Сидорчук, 2008).

Заключение. Краткие характеристики селевого процесса, режима и параметров селей вместе с картографическим обобщением по территории России и всего мира (V. F. Perov a. oth., 1997) позволяют отметить некоторые общие особенности географии селевых явлений.

Селевые процессы развиваются практически во всех горных районах Земли. Горы занимают около 20% суши, селеопасные территории – более 16%. Последствия хозяйственной деятельности, связанные со сведением лесов, перевыпасом, добычей полезных ископаемых, строительством расширяют границы районов с природным селеформированием. Человек «привел» селевые процессы на возвышенности и равнины.

Селевой процесс, как и другие экзогенные процессы, зонален. На большей части селеопасных территорий, в пределах теплой зоны господствуют дождевые сели, в холодной зоне – снеговые. В ледниковых высокогорьях дождевые сели нижних этажей гор сменяются снеговыми и ледниковыми верхних этажей. Распределение площадей районов с господством разных генетических (климатогенных) типов селей на Земле следующее: дождевых – 72%, снеговых – 20%, ледниковых – 8%.

Максимальные масштабы селевого процесса (объем селевых выносов и длина пути) свойственны региональным типам селей – вулканогенному и сейсмогенному, а также ледниковому. Эта группа селей и порождает ультраселевые потоки и приводит к самым тяжелым катастрофам.

глава четвертая
СЕЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ
И МЕРЫ ЗАЩИТЫ

4.1. СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ
КАК СТИХИЙНОЕ БЕДСТВО

Ущерб от стихийных бедствий стал мировой проблемой в контексте обеспечения устойчивого развития человечества. По данным Всемирной конференции по природным катастрофам (Йокогама, 1994) «Количество катастроф с высоким экономическим ущербом (1% и более от валового годового продукта страны, в которой они произошли) возросло в мире за 1962–1992 гг. в 4,1 раза. Количество пострадавших за этот же период увеличилось в 3,5 раза, а погибших – в 2,1 раза» (В. И. Осипов, 1995, с. 36). Среднегодовой ущерб от селей в мире составляет, вероятно, сотни миллионов долларов. Число жертв достигает многих десятков человек (С. М. Мягков, 1995).

Основными причинами опасности от селей для жизни людей и для хозяйственных объектов служат: а) неожиданность схода селей в связи с трудной его предсказуемостью; нередко селевые потоки сходят ночью; б) значительная скорость и глубина потока; в) ударное воздействие потока, которое приводит к разрушению зданий, мостов и других сооружений; г) глубинная и боковая эрозия русла, которая ведет к обрушению полотна автомобильных дорог, разрушению мостов и зданий, расположенных на берегу; д) занос земель в зоне аккумуляции – полотна автомобильных и железных дорог, территорий населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий.

Помимо эффектов прямого воздействия движущегося селевого потока существуют эффекты вторичного воздействия, возникающие после схода селей. Они связаны с подпруживанием реки, в которой аккумулируется основной объем селевых выносов. Это в некоторых случаях приводит к: а) наводнению на территории населенных пунктов, расположенных выше по течению от временной плотины; б) прорыву

плотины и формированию вторичного селевого потока или паводка; в) возникновению «селевого состояния» на ограниченном отрезке основной (не селевой) реки.

Разрушительный эффект ультраселевых потоков носит, как правило, катастрофический характер, поскольку параметры их на два порядка превышают параметры обычных селей. Сход их сопровождается многочисленными жертвами, приводит к заносу фарватера судоходных рек (р. Колумбия, США, 1980 г.), к значительным перерывам в использовании рек как источников водоснабжения (р. Камчатка, Россия, 1956 г.).

К объектам народного хозяйства, которые часто подвергаются вредному воздействию селей, относятся: города и населенные пункты, железные и шоссейные дороги, линии связи и электропередачи, каналы, трубопроводы, сельхозугодья, альпинистские лагеря, турбазы и другие объекты рекреации. Основной причиной их уязвимости служат расположение на конусах выноса, на дне долин или межгорных впадин у подножий хребтов, – преимущественно в зоне аккумуляции и транзита селевых потоков. Уязвимость линейных сооружений заложена в их непрерывности: они неизбежно пересекают пути схода селей.

Сели, как и другие опасные природные процессы, наносят социальный и экономический ущерб. К *социальному ущербу* относятся гибель людей и нарушение ритма общественной жизни. *Экономический ущерб*, тот, который наносится объектам народного хозяйства и имеет стоимостную оценку. Он включает в себя невосполнимые потери, и расходы на ликвидацию последствий.

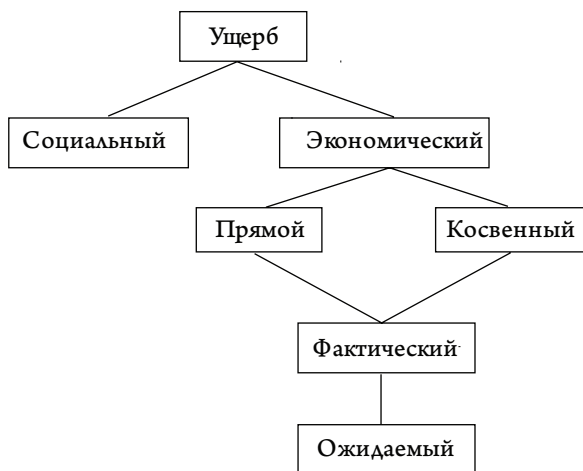
Экономический ущерб подразделяется на прямой и косвенный. *Прямой ущерб* – следствие физического воздействия селевого потока на объект; он поддается точному учету. Отметим характерные объекты основных отраслей хозяйства, используемых при оценке прямого ущерба: а) промышленные предприятия: здания, сырье, готовая продукция; б) сельское хозяйство: гибель урожая и скота, смыв и занос почвы; в) транспорт: дороги, сооружения, подвижной состав; г) линейные сооружения: ЛЭП, газопроводы, ирригационные каналы; д) спортивно-

оздоровительные здания и сооружения в горах. Для оценки суммы прямого ущерба к потерям в объектах хозяйствования прибавляются расходы на ликвидацию последствий стихийного бедствия.

Косвенный ущерб образуется в результате нарушения ритма хозяйственной жизни, – перерыва в движении транспорта, в подаче электроэнергии, газа, в работе связи. Косвенный ущерб составляет от 50 до 200% прямого. Практически в большинстве случаев учитывается лишь прямой ущерб.

Сумма прямого и косвенного ущербов образует *фактический ущерб*. Выделяют также *ожидаемый ущерб* – величину прямых и косвенных потерь, которая возможна в случае схода селей. Величина ожидаемого ущерба служит основным критерием при обосновании мер защиты от селей. Соотношения видов ущерба представлены на схеме (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Виды ущерба от стихийных бедствий



Среднегодулетний ущерб от селей в России составляет 7 млн руб., ожидаемый (возможный) разовый – 680 млн руб. Ущерб от схода селей в районе г. Лос-Анджелес (США) в 1938 г. составил 100 млн дол., в 1969 г. – 82 млн дол.

4.2. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ И РИСКА СЕЛЕЙ

Оценка опасности. Под опасностью понимается угроза потерь жизни людей и материальных ценностей вследствие схода селя. Для оценки степени опасности используются такие показатели, как повторяемость, объем селевых выносов, густота сети селевых русел (пораженность). Оценка опасности селей реализуется, главным образом, картографированием (см. разд. 2.4.). Степень опасности на мелкомасштабных картах оценивается с использованием интегрального показателя, включающего количественные характеристики объема селевых выносов и густоты селевых русел (В. Ф. Перов, 2009). Среднемасштабные карты (1:200 000) позволяют осуществить индивидуальную оценку каждого селевого бассейна, используя показатели повторяемости и объема выносов. На крупномасштабных картах, помимо характеристик объема селевых выносов и повторяемости отображается морфология селевых бассейнов. На детальных картах уровень опасности определяется методом зонирования конусов выноса (по степени разрушительности селей).

К понятию селевая опасность очень близко понятие селевая активность, под которым понимается интенсивность развития селевого процесса. Для оценки степени селевой активности применяют те же показатели, что и для оценки степени опасности. Соответственно, при картографировании селеопасных территорий эти понятия используются как синонимы. В названиях селевых карт академических изданий преобладает сочетание «селевая активность», прикладных – «селевая опасность».

Оценка риска. Риск селей – это ожидаемое количество потерь человеческих жизней и экономического ущерба, вызванного сходом селя. Для оценки риска необходимо учитывать два ряда показателей, характеризующих степень селевой опасности и уровень освоенности территории. Приведем примеры оценки риска селей в мелком и крупном масштабах.

При составлении карты риска селей на территории России в масштабе 1:15 млн для оценки степени селевой опасности в качестве показателей использовались густота селевых русел и повторяемость, а для оценки уровня освоенности – плотность населения и густота автомобильных дорог

(В. Ф. Перов, 2006). Для количественной оценки разнородных по качеству показателей был использован усовершенствованный метод балльных оценок, предложенный Ю. Г. Симоновым (1997). В итоге был получен комплексный показатель риска. Назначение категорий риска было осуществлено по графику распределения комплексного показателя риска.

Предложение по оценке риска селей в крупном масштабе содержится в публикации Ю. Б. Андреева и А. Н. Божинского (1996). Авторы оценивают риск захвата селевым потоком автомобильного транспорта на участке автомобильной трассы Заюково-Азау (Кабардино-Балкария). Для расчета были учтены показатели селевой деятельности – ширина конуса выноса в месте пересечения дорогой и повторяемость селей в бассейне и количество автомашин на единицу времени.

Экспресс-оценка. Нередко возникает необходимость быстрой оценки состояния селевых процессов участка слабо изученной территории. В таких случаях следует руководствоваться следующей процедурой.

Камеральный этап. Виды работ: выборка из обобщающих публикаций и нормативных документов; подборка данных из научно-справочных и фондовых материалов; дешифрирование космических и аэрофотоснимков. Результатом оценки служит предварительная схема распространения селей и кадастр селевых бассейнов.

Полевой этап включает аэровизуальные наблюдения, обследования с использованием наземного транспорта, маршрутные обследования, сбор опросных сведений. Результатом служат окончательная схема распространения и кадастр селевых бассейнов с выводами о генезисе и режиме селей.

На заключительном этапе оценки по результатам систематизации и анализа собранных данных формируется прогнозная экспресс-оценка селевого процесса на участке работ.

Приведем пример реализации такого рода оценки, проведенной на участке южной границы Таджикистана протяженностью 665 км. Задачи: оценка селевой опасности зоны автомобильной дороги и погранзастав. Обследование проведено в течение нескольких дней 1972 г. с использованием автотранспорта и при наличии крупномасштабных топографических карт. Из публикаций и справочных изданий было выявлено

лишь несколько селевых бассейнов и несколько случаев схода селей. Главные материалы для оценки получены после рекогносцировочных обследований вдоль автодороги, опросных данных, анализа условий селеформирования. Основные результаты: выявлено 216 селевых бассейнов, которые подразделены на три группы по морфологии и площади; выявлено два периода наибольшей селевой опасности – весенний, связанный со снеготаянием и дождями, и летний (в более высоких горах), связанный с ливнями и сходом ледниковых селей. Около половины селевых русел пересекает автомобильную дорогу. Дорога разделена на участки по степени селевой опасности; показателями служили количество пересечений полотна дороги селевыми руслами на единицу длины и вероятный объем селевых выносов.

Мониторинг. С развитием компьютерных технологий и возможностей съемок из космоса внедряются новые методы исследований в селеведение. Так, например, использование кадастров селевых бассейнов и результатов наблюдений на селевых стационарах сменяется внедрением в практику исследований и промышленных технологий системы мониторинга. Мониторинг в общем виде определяется как слежение за состоянием окружающей среды и предупреждение о создающихся критических ситуациях. Организация мониторинга в отношении селевых явлений включает следующие этапы: 1) выбор объектов наблюдений (селевых бассейнов); 2) составление детальной (базовой) карты условий селеформирования и морфологии селевого бассейна; 3) организация режимных наблюдений; 4) создание базы данных условий селеформирования и режима селей; 5) создание геоинформационной системы с возможностью обновления данных.

Для уточнения показателей и характеристик селевых потоков при подготовке отчетных материалов по оценке селевой опасности используются, помимо упомянутых ранее ведомственных руководств, **нормативные документы**, изданные Ростроем России. Приводим перечень таких документов, которые включают материалы по оценке селевых потоков и условий их формирования: Геофизика опасных... (1996); Ин-

женерные изыскания... (1997); Инженерно-геологические изыскания... (2000); Инженерно-гидрометеорологические изыскания... (2001); Инженерная защита... (2004).

4.3. ПРОГНОЗ СЕЛЕЙ

Возможности разработки прогнозов селевых потоков ограничиваются двумя обстоятельствами. Первое диктуется многофакторностью развития селевого процесса, необходимостью учета большого числа показателей. Второе – прямая жесткая зависимость селевого прогноза от уровня разработки прогноза его важнейших элементов, таких, как прогноз ливневых осадков. В связи с этим, существующие методы прогноза селей находятся преимущественно в стадии внедрения и экспериментальной проверки.

Селевые прогнозы по заблаговременности делятся на краткосрочные, с заблаговременностью от нескольких часов до нескольких суток, и долгосрочные, с заблаговременностью от нескольких лет до первых десятков лет. Прогноз, разработанный для отдельного селевого бассейна, называют локальным, для части горного хребта или крупного речного бассейна – фоновым или региональным. Методика прогноза различается в зависимости от генезиса. Приведем примеры некоторых разработок по прогнозированию селей.

Краткосрочные прогнозы. Для ливневых селей высокогорий Центрального Кавказа разработан *модельно-статистический метод* прогноза селей (Ю. Б. Андреев, И. Б. Сейнова, 1984). В его основе – статистический ряд данных о сходе селей в бассейне р. Баксан за 30 лет. В пределах однородного по геологическим условиям района выбран ряд значимых метеорологических показателей: суточное количество осадков, среднесуточная температура воздуха в день с осадками, сумма осадков за теплый период, сумма положительных температур за теплый период, интенсивность ливня. Статистической обработкой уточнены их критические значения, а по частоте схода селей оценены веса показателей. Построена модельная функция, зависящая от всех пяти параметров, отражающая взаимодействие ливня со склоновым материалом.

В результате вычисления значения функции прогноза и сравнения с событиями (сход – не сход) определяется пороговое значение, которое дает возможность делать прогноз. Проверка показала, что оправдываемость прогноза составляет более 75%.

Для *ливневых селей* низко- и среднегорий Узбекистана разработан метод краткосрочного прогноза с использованием, главным образом, **синоптической информации** (Д. Х. Салихова, Ляховская, 1989). Обоснование принятого подхода: 95% случаев схода селей обусловлено ливневыми осадками, все осадкообразующие синоптические процессы могут вызвать их формирование. Сущность метода состоит в нахождении зависимости схода селей не от выпадения осадков, а от характеристик воздушных масс. В качестве предикторов использованы: а) параметры, характеризующие влажность и температуру воздушных масс на разных изобарических поверхностях (теплых и холодных), что дает возможность определить вероятность и вид осадков, а также интенсивность снеготаяния; б) сумма осадков за 3 суток до прогноза, что характеризует увлажненность склонов. Проверка показала, что оправдываемость прогноза составляет 82–89%, заблаговременность – 1–2 суток.

При разработке прогноза *ледниковых селей* использовались такие прогностические признаки, как устойчивая жаркая погода, сопровождающаяся интенсивным таянием снега и льда и повышенным стоком, а также нарушение режима стока рек в бассейнах, несущих современное оледенение. В схеме прогноза ледниковых селей Центрального Кавказа (Г. Н. Голубев, 1966) в качестве показателя (индикатора теплового баланса поверхности ледников) использована скользящая сумма среднесуточных температур воздуха за 10 суток, в течение июля-августа. Критическая сумма вычислялась по данным известных случаев схода селей. Она составила 160° для г. Тырнауз. Дополнительным индикатором служит устойчивость температуры воздуха в 5–7 предселевых дней.

Срок *прорыва подпруженного ледником озера* как возможного очага селеформирования можно рассчитать на основе прогноза времени достижения уровня воды в нем 85–90% высоты плотины (Ю. Б. Виноградов, 1977).

Для прогноза прорыва внутриледниковых емкостей используется косвенный признак – нарушение режима стока (Ю. Б. Виноградов, 1977). Метод может быть реализован при наличии гидрометрических наблюдений. В основе метода – анализ аномальных отклонений на корреляционных графиках среднесуточных расходов воды двух соседних речек. При накоплении воды в ледниковых полостях происходит систематическое отклонение отдельных точек от основной полосы корреляции. Дополнительный критерий – уменьшение расхода при росте температуры на графике хода хронологической линии в системе координат: расход – максимальная среднесуточная температура воздуха.

При разработке фонового прогноза ледниковых селей для Заилийского Алатау использован **метод опознавания образов**, реализованный в программе «Поиск» (Ю. В. Хоменюк и др., 1985). В основе разработки – статистический ряд зарегистрированных ледниковых селей, выбор эталонов, составление из выбранных эталонов обучающей совокупности для ЭВМ. Для выпуска прогноза используются параметры, получаемые на основе стандартной гидрометеорологической информации (температура воздуха, осадки, высота нулевой изотермы, продолжительность солнечного сияния, средний расход воды, число дней с атмосферной засухой), с соответствующими ограничениями. Прогноз выдается ежесуточно. Проверка показала достаточно высокую оправдываемость, заблаговременность составила от 1 до 78 часов.

Долгосрочные прогнозы. Комплексный метод долгосрочного регионального прогноза с использованием инженерно-геологической информации (А. И. Шеко, 1980). Стадии прогноза: 1) выявление связи кривых хода селевой активности (случаев схода) с кривыми хода определяющих факторов – солнечной активности, макроформ атмосферной циркуляции, температуры воздуха, осадков; 2) прогноз хода метеоэлементов путем экстраполяции по их длинным рядам; 3) прогноз селевой активности на основе выявленной корреляции селевой активности с ходом кривых метеоэлементов; 4) конкретная реализация прогноза осуществляется на основе среднемасштабной инженерно-геологической карты селевой активности, на которую накладывается карта районирования по режиму метеопараметров.

Долгосрочный прогноз селей с использованием хода среднегодовой температуры воздуха Северного полушария (Б. Л. Берри и др., 1986; Б. Р. Берри, Е. Р. Краснушкина, 1990). Исходная гипотеза: в реперные годы (при смене тенденций к похолоданию или потеплению) чаще возникают аномальные дисперсии в колебаниях метеорологических характеристик, приводящие к активизации опасных климатогенных явлений, включая селевые. Стадии прогнозирования: 1) сопоставление аномальных вариаций температуры, случаев активизации селевых явлений с реперными годами аппроксимированных значений температуры полушария; 2) выбор температурных предикторов и их пороговых значений, приводящих к формированию селей; 3) выбор критических амплитуд экстремумов температуры северного полушария, соответствующих возникновению селей, с точностью ± 1 год; 4) использование экстраполированного графика глобальной температуры для регионального прогноза активизации селей.

Обзор **зарубежного опыта** прогнозирования дождевых селей представлен в монографии по селевым явлениям (М. Jakob, 2005). Охарактеризованы разработки 34 авторов. Все они имеют целью получение пороговых значений дождя для региона и использования их для раннего предупреждения. Под критическим порогом дождя понимается комбинация его интенсивности и продолжительности, которая пригодна для межрегиональных сравнений. В разработках использованы разные показатели и их сочетания. Приводим их распределение по видам сочетаний показателей:

- интенсивность и продолжительность дождя – 5 разработок;
- сумма осадков за интервал + интенсивность дождя – 3 разработки;
- предшествующий дождь + интенсивность или продолжительность или сумма осадков за интервал – 12 разработок;
- использование одного показателя: сумма осадков за интервал или интенсивность дождя или предшествующий дождь.

Период, за который учитывается предшествующий дождь, варьирует от 2 до 45 суток. Величина предшествующего сезонного увлажнения составляет, например, для южной Калифорнии 267 мм, для северной –

280 мм. Пороговые значения, базирующиеся на многочисленных данных, включены в систему раннего предупреждения. Это сделано в США (Калифорния), Италии, Бразилии, Гонконге.

Селевые процессы **в условиях глобального потепления** климата. Вопрос об изменениях масштаба селевых процессов в условиях меняющегося климата находится в начальной стадии изучения. Существующее мнение о возможном повсеместном усилении селевой активности мало обосновано. Анализ имеющихся данных о режиме селей в разных регионах в течении XX в. показывает, что периоды повышения селевой активности имеют разные временные рамки и продолжительность, т. е. отражают региональные особенности климата и развития селевого процесса.

4.4. МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ СЕЛЕЙ

Защита от селей ведется с давних времен, однако научно обоснованный и организованный в масштабах государства характер она приобрела немногим более ста лет назад. Первые законы об охране горных лесов в селе- и лавиноопасных районах были приняты в 1860 г. во Франции и в 1872 г. в Австрии. Можно выделить три категории мер защиты, различающиеся по назначению, способам реализации и эффектом воздействия на селевой процесс: организационно-хозяйственная, мелиоративная и гидротехническая. В состав *организационно-хозяйственных* мер защиты входят: а) максимальное сохранение и восстановление растительного покрова, защита его от вредителей и пожаров; б) перевод лесов в категорию защитных, замена сплошных рубок выборочными; в) установление оптимальных соотношений между видами использования земель; границы землепользования должны проходить по границам водосборов; г) соблюдение противоэрозионной агротехники; регулирование выпаса скота (взамен свободного выпаса). В освоенных регионах важным звеном организационно-хозяйственных мер защиты служит система предупреждения об опасности схода селей. Осуществление подобных мер не только снижает интенсивность эрозионных и селевых процессов, но является экономически выгодной.

Мелиоративные меры защиты направлены на регулирование поверхностного стока – главного фактора формирования селей. Это достигается как прямыми способами (создание водохранилищ, спуск прорывоопасных озер и др.), так и косвенными, путем облесения и террасирования склонов. Последние резко снижают или ликвидиру-

Таблица 4.2. Основные виды мелиорации в селевых бассейнах и их назначение

Виды мелиораций	Назначение
I. Облесение, залужение, посадка кустарников Террасирование склонов	Уменьшение поверхностного жидкого и твердого стока
II. Нагорные каналы Ливнеотводы Дренаж	Регулирование поверхностного и грунтового жидкого стока.
III. Паводкорегулирующие плотины Регулирующие селехранилища Понижение уровня или профилактический спуск озер.	Предотвращение зарождения и формирования селевого потока.

ют поверхностный сток и эрозию на склонах, переводя часть поверхностного стока в грунтовый (табл. 4.2).

Строительство *гидротехнических сооружений* в селевых бассейнах ведется с целью прямого воздействия на движущийся селевой поток, его остановки или локализации зоны его вредного воздействия. Можно выделить четыре группы противоселевых сооружений, различных по назначению: селезадерживающие, селепропускные, селенаправляющие и стабилизирующие (табл. 4.3).

Селезадерживающие плотины рассчитаны на остановку всей селевой массы или большей части твердой составляющей. Селепропускные сооружения служат для пропуска селевого потока через объект защиты или в обход его. Селенаправляющие дамбы относятся к числу простейших видов сооружений, предназначенных, главным образом, для отвода селевого потока от защищаемого объекта. Главным видом в группе стабилизирующих сооружений являются каскады запруд. Они преобразуют продольный профиль селевого русла в ступенчатый, что ведет к затуханию селевого процесса или к ослаблению динамических характеристик потока.

Таблица 4.3. Основные виды противоселевых сооружений и их назначение

Виды сооружений	Назначение
I. Селезадерживающие Плотины бетонные, железобетонные, из каменной кладки: водосбросные, сквозные. Плотины из грунтовых материалов (глухие).	Остановка селевого потока в верхнем бьефе. Образование селехранилищ
II. Селепропускные Каналы Селеспуски Мосты	Пропуск селевого потока через объект или в обход него
III. Селенаправляющие Направляющие и ограждающие дамбы. Шпоры.	Отвод селевого потока от защищаемого объекта. Направление селевого потока в селепропускное сооружение
IV. Стабилизирующие Каскады запруд Подпорные стены	Прекращение движения селевого потока или ослабление его динамических характеристик. Защита от размыва русла и подмыва бортов.

Как показал более чем вековой опыт борьбы с селевой угрозой, как отечественный, так и зарубежный, наилучшие результаты дает сочетание всех категорий мер защиты, в особенности – мелиоративных и гидротехнических. Это положение служит основным принципом при разработке мер защиты в течение последних пятидесяти лет и во многих развитых странах закреплено законодательно (например, лесотехническое направление в странах Западной Европы).

В связи с комплексным характером проблемы противоселевой защиты возникает потребность сосредоточения усилий в рамках единой организации. Такие организации создаются в странах, где проблема защиты от стихийно-разрушительных процессов приобретает государственную значимость. Например, в Австрии специальная служба лавино- и селезащиты при Министерстве сельского и лесного хозяйства существует с 1884 г. Она занимается проектированием, строительством и эксплуатацией защитных сооружений, фитомелиорацией, участвует в оптимизации природопользования. Специализированное управление

по защите от лавин и селей создано в 1973 г. в Казахстане. Приведем несколько примеров реализации мер защиты в разных по условиям селеформирования регионах.

Казахстан, Заилийский Алатау. Хребет Заилийский Алатау несет современное оледенение и характеризуется высокой степенью селевой активности. Генезис селей дождевой и ледниковый; большинство крупных селей с катастрофическими последствиями – ледниковые. Для защиты от селей широко используются две группы мероприятий: строительство селезадерживающих плотин и спуск прорывоопасных приледниковых озер. До 1990 г. в семи селевых бассейнах возведено 11 плотин разных типов (Р. К. Яфязова, 2007): насыпных – 4, сквозных железобетонных – 3, сквозных металлических – 2, каменно-набросных – 1, ячеистых железобетонных – 1, арочных из сборных железобетонных блоков – 1. Высота плотин от 6 до 150 м, емкость селехранилищ – от 0,035 до 12,6 млн м³.

Большинство крупных ледниковых селей имеет прорывной механизм зарождения. Поэтому профилактический спуск приледниковых озер актуален. Начиная с 1974–75 гг. основные угрожающие озера полностью или частично спущены (Н. К. Бижанов и др., 1998). Для этого на поверхности озерной плотины устраивается канал-траншея. В зависимости от строения и состояния грунтов озерной плотины используют два способа контролируемого спуска. Если плотина состоит из льда или многолетнемерзлого грунта верхний чехол морены снимается; углубление канала происходит за счет теплообмена между талой водой и телом плотины. В условиях талого грунта используются брезентовые экраны и мягкие затворы, которые позволяют организовать водные попуски для контролируемого понижения уровня озера.

Узбекистан, Ферганская долина. В зоне аридных низко- и среднегорий Ферганской долины, сложенных преимущественно рыхлообломочными горными породами формируются селевые потоки низкой плотности, грязевые и грязекаменные по составу и селевые паводки. Реализация мер защиты началась в последней четверти XIX в. Использовалась, главным образом, мелиорация селевых бассейнов путем террасирования и лесопосадок на склонах. С 1960-х годов начали строить гидротехнические сооружения (Р. Г. Вафин, В. П. Пушкаренко, 1984).

Запруды высотой 1–5 м применяют для задержки селевых выносов и стабилизации русла. Они размещаются одиночно или группами на участке возможного образования селя.

Основным звеном в системе гидротехнических сооружений служат селехранилища. Они создаются как одиночно, так и группами, образуя «региональную» систему, объединенную общим селесбросным трактом. Таким образом нейтрализуется целая сеть селевых бассейнов одного склона. Селехранилища аккумулируют твердый сток, снижают максимальный расход потока; осветленные воды отводятся для орошения. Для перехвата и сброса склонового стока строят нагорные каналы. Проверка работы защитной системы в районе г. Анджана селевыми потоками 1972 и 1973 гг. показала ее эффективность: ниже сооружений отрицательного воздействия селей не отмечено.

Украина. Крымские горы. В Крыму формируются водокаменные (несвязные) сели и селевые паводки. Эффективным средством регулирования (резкого уменьшения) стока в селевых бассейнах оказалось террасирование склонов в сочетании с лесопосадками (А. Н. Олиферов, 1968). Сравнение двух водосборов, один из которых был затеррасирован на 75% площади, другой оставался в естественном состоянии, показало следующее (после прохождения двух ливней): суммарный сток с затеррасированного водосбора был на 75–80%, а максимальные расходы на 90–95% меньше, чем с контрольного бассейна. Мутность воды на затеррасированном водосборе составила 2,7–7,3‰ мутности на естественном водосборе. Общий вес взвешенных наносов, поступивших с затеррасированного водосбора, был в 100–200 раз меньше веса наносов, смытых с контрольного бассейна. Результаты экспериментов послужили основанием для внедрения метода механизированного террасирования склонов для защиты от селей в Крыму.

Австрия, Альпы. Австрийские Альпы в целом характеризуются средней степенью селевой активности. Основной принцип защиты от селей – сочетание лесомелиорации на склонах с устройством гидротехнических сооружений в русле. Он дополняется регулированием сельскохозяйственного использования земель в селеопасных районах. Основными видами гидротехнических сооружений служат пороги, запруды, плотины. Пороги имеют высоту 0,2–2,0 м над дном водотока и

служат для поддержки постоянства поперечного сечения русла. Запруды высотой 2–8 (до 12) м возводят каскадами, что обеспечивает уменьшение продольного уклона русла, защиту берегов и дна русла от размыва, задержку части твердого стока. Каскады запруд – эффективный и распространенный в Австрии способ закрепления горных водотоков.

Селезадерживающие плотины имеют ограниченную высоту (до 15 м); объем селехранилищ перед плотинами невелик – до 120 тыс. м³, в соответствии с объемом селевых выносов. Закрепление склонов растительностью начинают после того, как в русле построены регулирующие сооружения.

В категорию защитных в Австрии выделены леса, произрастающие на склонах круче 35°, а также на закарстованных и оползневых участках, на склонах с тощим почвенным покровом, с вертикальной протяженностью менее 100–300 м. О масштабах выполненных работ говорят следующие цифры. За 90-летний период (1884–1973 гг.) построены: берегоукрепительные сооружения (направляющие стенки и дамбы, крепление русел) – 4400 км; поперечные сооружения (плотины, запруды, пороги) – 5540 шт.; напорные и водосборные каналы, селепроводящие русла – 990 км. Посадки деревьев и кустарников в высокогорных зонах осуществлены на площади 10 700 га.

США, шт. Калифорния. Крупные потери от селей несла городская агломерация г. Лос-Анджелес, протяженностью вдоль берега океана 80 км и в субширотном направлении 50 км (А. Ю. Власов, 1976). Она расположена у подножья хр. Сан-Габриэль высотой до 3000 м. Главная причина селевой активности – мощные ливни высокой интенсивности, с суточной суммой осадков до 200–300 мм. Работы по защите начались после разрушительного селя 1914 г. и в основном были завершены к 1970 г.; общая стоимость их составила около 1 млрд дол. Работы охватили территорию площадью 7200 км². Построено 20 паводкорегулирующих плотин, 105 селехранилищ, 861 отстойников, 32 насосные станции. Крепление русел и паводкорегулирующих каналов осуществлено на протяжении 1033 км; протяженность системы ливневого дренажа составила 2062 км. Эффективность системы мер защиты прошла испытание

мощными паводками 1969 г. Пики ливневых расходов были срезаны до 81%; общий объем задержанных наносов составил 12,4 млн м³; система каналов обеспечила пропуск расчетных расходов воды.

Перу, Кордильера-Бланка. Хребет – самый высокий в Западной Кордильере Анд (более 6000 м); гребень покрыт снегом и льдом. Зарождение мощных паводков и селевых потоков связано преимущественно с падением ледниковых лавин в приледниковые озера и прорывом последних. В течение XVIII–XX вв. они вызвали 22 катастрофы с большими жертвами и ущербом (Mogales Arnao B., 1998). Для предупреждения неконтролируемого прорыва озер используется два способа: прокладка канала через моренную плотину и строительство туннелей в морене. Первый способ, благодаря постоянному сбросу воды обеспечивает низкий уровень воды в озере, второй – обеспечивает сброс воды при повышении уровня. Оба способа должны предотвратить неконтролируемый сброс воды из прорывоопасных озер. Строительство затруднено большой высотой (4000 м и выше). Более чем 30-летние непрерывные работы (1950–1970-е годы) зарегулировали сток из наиболее опасных приледниковых озер Кордильеры-Бланка.

Япония, порт Кобэ. Город Кобэ расположен на южном побережье о. Хонсю, у подножья гор Рокко, высотой до 600 м и сложенных легко разрушаемыми горными породами (В. И. Тевзадзе, 1982). Город протянулся на 30 км и пересекается более чем 20 водотоками. Во время ливневых дождей по ним на город устремляются сели и паводки. Общий объем выносов достигает 4 млн м³. Катастрофические потоки в июле 1938 г. привели к гибели 616 человек и уничтожению тысяч домов. Поскольку город испытывает дефицит в землях для гражданского и промышленного строительства в 1968 г. было предложено объединить две задачи – защиту от эрозии и селей и расширение территории города. В верховьях водотоков (в очагах зарождения селей) был произведен срез нескольких десятков миллионов кубометров грунта, который переместили в акваторию порта. В результате удаления толщи грунтов из зоны зарождения селей объем селевых выносов в черте города резко сократился, на территории среза грунта построены жилые массивы, на искусственной суше размещены заводы, ремонтные мастерские, емкости горючего.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

Флейшман С. М., Перов В. Ф. Сели: учебное пособие.

Изд-во Моск. ун-та, 1986, 127 с.

Флейшман С. М. Сели. Л., Гидрометеиздат, 1978. 312 с.

Перов В. Ф. Селевые явления на территории СССР. Итоги науки и техники: гидрология суши, т. 7. М., 1989. 149 с.

Перов В. Ф. Селевые явления. Терминологический словарь.

Изд-во Моск. ун-та, 1996. 45 с.

Селеопасные районы Советского Союза. Под ред. С. М. Флейшмана и В. Ф. Перова. Изд-во Моск. ун-та, 1976. 308 с.

Экологический атлас России. СПб, ЗАО «Карта», 2002. 128 с.

Дополнительная

Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках.

Л., Гидрометеиздат, 1980. 144 с.

Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки.

Л., Гидрометеиздат, 1977. 155 с.

Гагошидзе М. С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси, «Сабчота сакарт-вело», 1970. 385 с.

Методическое руководство по комплексному изучению селей. Под ред.

М. В. Чуринова и А. И. Шеко. М., Недра, 1971. 164 с.

Руководящий документ. Руководство селевым станциям и гидрографическим партиям. Вып. 1 организация и проведение работ по изучению селей. РД 52.30.238-89. М., Гидрометеиздат, 1990. 198 с.

Сели в СССР и меры борьбы с ними. М., Наука, 1964. 282 с.

Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноз селей.

М., Недра, 1980. 296 с.

Библиографические указатели

Власов А. Ю., Крашенинникова Н. В. Селевые явления на территории СССР и меры борьбы с ними. Указатель литературы, изданной в 1850-1967 гг. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969. 216 с.

Власов А. Ю. Селевые явления на территории СССР и меры борьбы с ними.

Часть 2. Указатель литературы, изданной в 1968-1991 гг. Пятигорск, 2008. 332 с.

ЛИТЕРАТУРА

- Авессаломова И. А., Петрушина М. Н., Хорошев А. В.** Горные ландшафты: структура и динамика. Учеб. пос. М., Изд-во МГУ, 2002. 157 с.
- Агибалова В. В.** Сели в Северной Осетии. Орджоникидзе, Ир, 1983. 112 с.
- Айзенберг М. М. и Вольфцун.** Гранулометрический состав селевых отложений на реках Украинских Карпат. Труды УкрНИГМИ, 1971, вып. 107, с. 133–138.
- Айзенберг М. М., Гольдин Б. М., Иванов Б. М., Олиферов А. Н.** Новые карты и классификация селевых бассейнов горных районов Украины. Инф. бюлл. «Геофизика и астрономия». №8. Киев, 1965. с 142–146.
- Ананьев Г. С.** Следы деятельности селей в верховьях р. Колымы. Вестн. МГУ Геогр. 1967, №2. с 138–140.
- Андреев Ю. Б., Божинский А. Н.** Проблемы оценки и картографирования природного риска (на примере лавин и селей). Вестн. МГУ, сер. 5. Геогр., 1996, №3, с. 55–60.
- Андреев Ю. Б., Сейнова И. Б.** Модельно-статистический подход к разработке прогноза ливневых селей на примере высокогорного Центрального Кавказа. Вестник МГУ, сер. география. №4, М., МГУ, 1984, с. 86–92.
- Арутюнян М. А.** О селевых явлениях в Армении. Гидрометеорологические исследования в Армении. М., 1984. с. 60–63.
- Арну М.** Основные законы и ограничения во Франции в связи с проявлением оползней и селей. В кн.: Оползни и сели, т. 2. М., 1984, с. 207–211.
- Атлас «Автономная республика Крым».** Киев–Симферополь, 2003.
- Атлас Азербайджанской ССР.** Баку–Москва, ГУГК, 1963, 214 с.
- Атлас Армянской ССР.** Ереван–Москва, ГУГК, 1961, 11 с.
- Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР.** М., ГУГК, 1983.
- Атлас Киргизской ССР, Том первый.** М., ГУГК, 1987.
- Атлас Таджикской ССР.** Душанбе. Москва. ГУГК, 1968, 200 с.
- Атлас Узбекской ССР. Ч.1.** Москва. ГУГК, 1982.
- Байнатов Ж. Б.** Конструкции селезащитных сооружений и методы их расчета: аналитический обзор. Алма-Ата, 1991. 159 с.
- Башлавин Д. К.** Селевой паводок в Верхоянском хребте. Вестн. МГУ. Геогр. 1968. №3. с. 148–149.

Белая Н. Л. Моделирование внутригодового распределения дождевых селей в горных регионах мира. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук, М., 2005. 23 с.

Бельй В. Ф., Валпегер А. П., Мерзляков В. М. Сильное землетрясение на Северо-Востоке СССР. Природа. 1971. №12. с. 64–67.

Берри Б. Л., Краснушкина Е. Р. Методика долгосрочных региональных прогнозов опасных явлений (на примере лавин и селей Центрального Кавказа). Вестн. Моск. Ун-та, сер. 5, геогр., 1990. №4. с 46–52.

Берри Б. Л., Мягков С. М., Фрейдлин В. С. Синхронные изменения активности опасных явлений и их прогноз. Вестн. Моск. Ун-та, сер. 5, геогр., 1986, №3, с. 23–30.

Бижанов Н. К., Виноградов В. Н., Кулмаханов Ш. К., Нурланов М. Т., Попов Н. В. Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане. Алматы, изд-во «Гылым», 1998. 101 с.

Бирман Б.А., Балашова Е.В. Осень 1995 г.: сезон разрушительных тропических циклонов. Земля и Вселенная, 1996, № 3, с. 72-77.

Богданович К. И. Два пересечения Главного Кавказского хребта. «Тр. Геолкома», 1902, т. 19, №1, с. 1–166.

Боголюбова И. В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1957. 152 с.

Богословский Б. Б., Самохин А. А., Иванов К. Е., Соколов Д. П. Общая гидрология (гидрология суши). Л., Гидрометеиздат, 1984. 422 с.

Божинский А. Н., Евсеев А. Н., Мягков С. М., Перов В. Ф., Сапунов В. Н., Сапунова Г. Г., Фрейдлин В. С. Водоснежные потоки Хибин. М., Геогр. фак. МГУ, 2001. 167 с.

Божинский А. Н., Назаров А. Н. Двуслойная модель водоснежного потока. Вестн. МГУ, сер. 5, геогр., 1998, №5, с. 22–27.

Божинский А. Н., Назаров А. Н., Сапунов В. Н. Статистическое моделирование динамики водоснежных потоков. Вестн. Моск. Ун-та, сер. 5, геогр., 2002, №5, с. 39–43.

Бойнагрян В. Р. Современные рельефообразующие процессы в Приерванском селеносном районе. Уч. Зап. Ереван. гос ун-та, естеств. науки, 1978, №3(139), с 116–123.

- Бойнагрян В. Р.** Экзогенные процессы рельефообразования в Армении. Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследований. Матер. XXVIII Плен. Геоморфол. комис. РАН. Новосибирск, ИГСО РАН, 20–24 сент. 2004 г. Новосибирск, 2004, с. 43–44.
- Бойнагрян В. Р.** Селевые потоки в Армении. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. Междун. конф., Пятигорск, Россия, 22–29 сент. 2008 г. Пятигорск, 2008, с. 143–146.
- Болт Б. А., Хорн У. Л., Макдоналд Г. А., Скотт Р. Ф.** Геологические стихии М., «Мир», 1978, 440 с.
- Бондарев Л. Г.** Экологические проблемы ранних цивилизаций. Теоретические и методические проблемы палеогеографии. М., 1987, с. 108–128.
- Борисов А. А.** Климатография Советского Союза. Изд-во Ленингр. ун-та, 1970. 310 с.
- Боярский И. Я., Перов В. Ф.** Основные типы динамических механизмов формирования селевых потоков. Вестник МГУ, 1974, №5, сер. География, с. 68–73.
- Боярский И. Я., Перов В. Ф., Сапунов В. Н., Фрейдлин В. С.** Массовый сход водоснежных потоков в Хибинах в мае 1977 г. Сели в горных районах СССР. М., изд-во Моск. ун-та, 1979, с. 96–99.
- Брилинский А. Л.** Горные потоки, их природа и меры борьбы с ними. Тифлис, Закиз, 1936. 130 с.
- Бударина О. И., Перов В. Ф.** Карта селеопасных районов Камчатки. Вестник Моск. Унив., сер. География. №1, М., МГУ, 1984, с. 86–88.
- Бударина О. И., Перов В. Ф., Сидорова Т. Л.** Селевые явления о.Сахалин. Вестник МГУ, серия география, 1987, №3. с. 76–81.
- Бударина О. И., Перов В. Ф., Сидорова Т. Л., Белая Н. Л.** Генезис и режим селевых явлений Южной Америки. – Матер. гляциол. исслед., вып. 88, 2000, с. 50–55.
- Важнов А. Н.** Небывалый селевой поводок на р. Гедаре. Метереол. и гидрол., 1946, №5, с. 96–99.
- Вардугин В. Н.** Гранулометрический состав рыхлообломочных пород в селевых очагах и на конусах выноса. Селевые потоки, сб.2. М., Гидрометеиздат, 1977, с. 94–106.
- Вафин Р. Г., Пушкаренко В. П.** Особенности защиты от селей в Узбекистане. Оползни и сели, т.2, М., 1984. с. 102–107.

- Великанов М. А.** Качественный динамический анализ селевого потока. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геоф., 1945, т.9, №4, с. 353–363.
- Великовская Е. М., Кожевников А. В.** О происхождении мореноподобных толщ в долинах Терека, Гизель-дона и Уруха. Вестн. Моск. Ун-та, сер. биол., почвовед. геол., геогр., 1959, №4, с. 125–134.
- Виноградов В. А.** Селевые очаги таежного низкогорья на участке железной дороги Новокузнецк-Абакан. Тр. Зап.-Сибирск. регион. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 1981. вып. 52. с. 76–78.
- Виноградов В. А.** Селепроявления в районе с. Эдиган. Тр. Зап.-Сибирск. регион. Науч.-исслед. гидромет. ин-та. 1976. вып. 43. с. 92–99.
- Виноградов В. А.** Селевые очаги среднегорья западной части Горного Алтая. Тр. Зап.-Сибирского регион. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 1978. вып. 38. с. 41–46.
- Виноградов В. А., Кошинский С. Д., Таланов Е. А.** Атмосферные осадки и сели юго-востока Западной Сибири. М., Гидрометеиздат, 1987. 148 с.
- Виноградов Ю. Б.** Искусственное воспроизведение селевых потоков на экспериментальном полигоне в бассейне р. Чемолган. Селевые потоки, сб.1. М., Гидрометеиздат, 1976, с. 3–7.
- Виноградов Ю. Б.** Селевые явления на территории северной части Хабаровского края. Селевые потоки, сб. 4. М., Гидрометеиздат. 1980. с. 82–90.
- Виноградов Ю. Б.** Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л., Гидрометеиздат. 1977, 155 с.
- Власов А. Ю.** Селевые явления и меры борьбы с ними в США. Обзорная информация (ЦБНТИ Минводхоза СССР, №5). М., 1976. 44 с.
- Войнич-Сяноженцкий Т. Г., Беручашвили Г. М.** К гидравлической теории потоков лавинного характера. Тр. ЗапНИГМИ, 1970, вып. 37 (43), с. 29–69.
- Войтковский К. Ф., Корольков В. Г.** Водоснежные потоки на плато Путорана. МГИ, вып. 84, 1998, с. 92–94.
- Водоснежные потоки Хибин.** Под ред. А. Н. Божинского, С. М. Мягкова. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Геогр. ф-т МГУ, 2001.
- Генеральная схема** противоэрозионных мероприятий Грузинской ССР на 1981–1990 годы и на период до 2000 года. Тбилиси, Сабчота Сакартвело, 1988, 725 с.

Геология и сейсмичность зоны БАМ (от Байкала до Тынды). Инженерная геология и инженерная сейсмология. Ред. Солоненко В. П. Новосибирск. Наука, 1985. 192 с.

Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей.

М. Высшая школа, 1980. 343 с.

Геофизика опасных природных воздействий. СНиП 22-01-95. М., Минстрой России, 1996. 8 с.

Гидроэрозионные процессы в южном Сихоте-Алине. Ред. Глубоков В. Н. Тр. Дальневост. регион. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 1982. вып. 104. 94 с.

Голуб И. Г. Селевые потоки. Изв. ТбилНИГЭИ, 1938, вып. 2, с. 15–25.

Голубев Г. Н. О формировании и прогнозировании гляциальных селей. МГИ, вып. 12. 1966. с. 144–149.

Голубев Г. Н., Лабутина И. А. Дешифрирование селей высокогорий по аэрофотоснимкам. Вестн. МГУ, сер. V, география, 1966, №1, с. 48–53.

Горяинов В. А. Селевые потоки в восточных районах Оренбургского Предуралья. Экзогенные процессы и окружающая среда: количественный анализ взаимодействия. Тез. докл. 19 Пленума геоморфол. комиссии АН СССР, Казань. 1988., с. 38–39.

Давтян П. Г., Гагинян Р. Х. Связь селеобразующих процессов с засухами (на примере Республики Армения). Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. междунар. конф., Пятигорск, Россия, 22–29 сент. 2008 г. Пятигорск, 2008, с. 99–101.

Дедков А. П., Мозжерин В. И. Эрозия и сток взвешенных наносов на Земле. Геоморфология. 1983. №4. с. 23–31.

Дедков А. П., Мозжерин В. И. Эрозия и сток наносов на Земле. Изд-во Казанского ун-та, 1984.

Демонце П. Практическое руководство к облесению и задернению гор. Тбилиси, 1891. 394 с.

Динамическая геоморфология. Учебное пособие. М., изд-во Моск. ун-та, 1992. 447 с.

Доманицкий А. П., Дубровина Р. Г., Исаева А. И. Реки и озера Советского Союза. Л., Гидрометеиздат, 1971. 104 с.

Дробот В. В. Формирование селевых потоков и паводков в Прибайкалье и особенности их расчета и прогноза. География и природные ресурсы. 1983. №1. с. 78–85.

Егиазаров И. В. Горный русловой и селевой процесс. Классификация и расчет. Селевые потоки и горные русловые процессы. Ереван, изд-во АН Арм. ССР, 1968. с. 121–125.

Елисеев В. И. Закономерности образования пролювия. М.: Недра, 1978, 232 с.

Ермаков А. В. Основные типы селевых очагов и некоторые методы их изучения. Борьба с горной эрозией почв и селевыми потоками. Ташкент, 1962, с. 186–191.

Живая тектоника, вулканизм и сейсмичность Станового нагорья. М., Наука. 1966. 231 с.

Жонг Дунлун, Чен Джинри, Луо Дефу, Ли Джян. Грязевые потоки рудничного происхождения в Китае. Влияние добычи ископаемых на окружающую среду. Ч.2. М., 1989. с. 55–70.

Запорожченко Э. В. Сели бассейна реки Герхожан-Су: история проявления, условия формирования, энергетические характеристики. Сб. науч. тр. Сев-Кавк. ин-та по проектированию водохозяйств. и мелиоративного строительства. Вып.15. Пятигорск, 2002. с. 80–148.

Защита железных дорог от селевых потоков. М., Трансжелдориздат, 1962. 238 с.

Земс А. Э., Хонин Р. В., Лаптев В. И. Баланс твердого и жидкого вещества в селевых потоках 1972–1973 гг. в бассейне р. Чемолган. Селевые потоки, сб. 1, М., Гидрометеиздат, 1976, с. 35–43.

Зюзин Ю. Л. Суровый лик Хибин. Мурманск, изд-во «Рекламная полиграфия», 2006. 235 с.

Ивановский Л. И. Значение палеогеографического метода для оценки селевой опасности долин северного склона хребта Хамар-Дабан. Закономерности и прогнозирование природных явлений. М., Наука, 1980, с. 95–105.

Иванов-Смоленский А. Урок Саргазана. Природа и человек. 1987. №10. с. 10–13.

Ильясов А. Т. Сток и водный баланс речных бассейнов Киргизии. Тр. Средне-аз. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 1969. вып. 43(58).

Иманов Н. А., Ахмедова Л. Х., Исрафилов Ш. И. Методика определения параметров селей по космическим снимкам. Изв. АН АзССР, сер. наук о Земле, 1982, №2, с. 104–107.

Иманов Н. А., Исрафилов Ш. И. Исследование антропогенного воздействия на селеактивность речных бассейнов восточной части Закатальского полигона с применением космической информации. Первая Всесоюзная конф. «Биосфера и климат по данным космич. исслед». Баку, 29 нояб.-3 дек. 1982 г. Тез. докл. Баку, Элм, 1982, с. 132–134.

Иманов Н. А., Исрафилов Ш. И. Составление карт селеопасности на основе аэрокосмических материалов (на примере южного склона Большого Кавказа). В сб.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, 1990, с. 136–142.

Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. СНИП 22-02-2003. М., Рострой, 2004. 40 с.

Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. СНИП 2.01.15-90. М., 1991. 32 с.

Инженерно-геологические изыскания для строительства. СП-11-105-97. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических процессов. М., Госстрой России, 2000. 93 с.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства СП 11-103-97. М., Госстрой России, 2001. 29 с.

Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНИП 11-02-96. М., Минстрой России, 1997. 44 с.

Иогансон В. Е. Селевой паводок на реке Кура 8 августа 1955г. Изв. АН СССР, сер. геогр., 1957, №6.

Иогансон В. Е. Типизация селевых бассейнов для практических целей. Борьба с горной эрозией почв и селевыми потоками в СССР. Ташкент. 1962, с. 192–195.

Иогансон В. Е., Муратов Б. М. Катастрофический сель на Тереке. Природа, 1968, №3, с. 119–123.

Иорданишвили З. С., Сулаквелидзе Л. А., Хараишвили Г. И. Прохождение селевых потоков по руслу горного потока Шави Дуруджи 29.VII.1956 года. Тр. ГрузНИИГиМ, вып. 18–19, Тбилиси, 1957, с. 514–522.

Иозльсон М. Д. Облесение и задернение гор. Тр. Императорского Кавказского общества сельского хозяйства. Тифлис, 1891, №9-10, с. 409–443, №11–12, с. 543–573.

Кадастр (каталог) селеопасных рек и селевых паводков в горных районах Украинской ССР (Крым, Карпаты). Под ред. М. М. Айзенберга. Киев, 1969 г. 157 с.

Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа. Под общ. ред. М. Ч. Залиханова. СПб., Гидрометеиздат, 2001. 112 с.

Казаков Н. А., Минервин И. Г. Селевые процессы на о. Сахалин. Прикл. геоэкология, чрезвычайные ситуации и земельный кадастр. М., ИЛРАН, 2000, вып. 4, с. 35–38.

Карпов П. М., Пушкаренко В. П., Умаров А. Ю., Ходжаев Ш. К. Селевые явления в Узбекистане. Ташкент. Фан, 1976, 134 с.

Карта инженерно-геологического районирования территории Грузии по степени селевой опасности и вероятности возникновения селей. М-б 1:500 000. Ред. Э. Д. Церетели. Тбилиси, 1986.

Карта новейшей тектоники СССР и сопредельных областей. М-б 1:4 млн, ГУГК, 1985.

Карта оценки рельефа СССР как условия лавинообразования. Карты лавинопасных районов Советского Союза. Изд-во Моск. ун-та. 1971.

Карта селеопасных районов СССР. Ред. В. Ф. Перов, С. М. Флейшман. М-б 1:8 000 000. М., ГУГК, 1975.

Карта фоновой оценки селеопасности Казахской ССР. М-б 1:1 000 000. 1988.

Каталог селеопасных рек Казахстана, Средней Азии и Восточной Сибири (Иркутская область и Бурятская АССР). Т. III. Под ред. И. О. Раушенбаха. Алма-Ата, 1967. 327 с.

Каталог селеопасных рек на территориях Северного Кавказа и Закавказья. Под ред. Г. Н. Хмаладзе. Тбилиси, 1969. 340 с.

Квасов А. И. Физико-географические и инженерно-геологические условия формирования селевых паводков в бассейне вадии Хадрамаут (НДРЙ). Пробл. противосел. меропр., Алма-Ата, «Казахстан», 1984, с. 215–221.

Квасов А. И. Селевые потоки и их воздействие на сооружения. Алма-Ата, Наука, 1987. 131 с.

Кеммерих А. О. Полярный и Приполярный Урал. Сели в СССР и меры борьбы с ними. М., «Наука», 1964, с. 216–218.

Кеммерих А. О. Селевые паводки на Полярном и Приполярном Урале. Метеорология и гидрология. 1961. №3. с. 126–127.

Кеннет Дж. П. Морская геология. Т. 2. М., Мир, 1987. 384 с.

- Кириллюк И. В., Чалмаев Л. В.** К вопросу о восстановлении типов прошедших селевых потоков. Тр. Среднеаз. Регион. НИИ (САНИИ) Госкомгидромет. Вып. 125 (206). М., Гидрометеиздат, 1987. с. 93-99.
- Кириллюк И. В., Чалмаев Л. В.** Карта селевой опасности территории Узбекистана. География и природные ресурсы. 1988, №3, с. 81-86.
- Клинцов А. П.** Защитная роль лесов Сахалина. Южно-Сахалинск. Дальневост. кн. изд-во, 1973. 231 с.
- Клюкин А. А.** Экзогеодинамика Крыма. Симферополь., изд-во Таврия, 2007. 320 с.
- Ковалев А. П.** Динамика растительного покрова на селевых выносах. Вестн. Харьк. ун-та, сер. геол. и геогр., Харьков, Высшая школа, 1983, №239, с. 44-47.
- Ковалев А. П.** Снежный покров и ледники Б. Кавказа как фактор селеобразования. Тр. Закавказ. Науч.-исслед. Гидромет. ин-та. 1974. вып. 58(64), с. 200-204.
- Ковалев П. В.** Сели в бассейне р. Баксан. Природа, 1955, №2, с. 92-95.
- Коджаспиров А. А., Суловский В. И.** Прогноз формирования твердой составляющей селей в речных бассейнах горного Крыма. Тез. докл. Всесоюзного совещания «Состояние и пути развития науч. исслед. по селевой проблеме и проектирования противоселевых сооружений». М., 1974. с. 117-119.
- Кожевников А. В.** Антропоген гор и предгорий (генетический анализ). М., Недра, 1985. 181 с.
- Колесников Е. И., Попов В. И.** Некоторые сведения о водоснежных потоках в низкоргорьях Западного Алтая. Сб. работ Алма-Атинской гидромет. обсерватории. 1981. №9. с. 43-49.
- Комлев А. М.** Селевые паводки в Заполярье. Метеорология и гидрология. 1957. №12. с. 31-32.
- Комплексный атлас** Украины. Киев. ДНВП «Картография», 2005
- Коновалов Е. П.** Селевые потоки (опыт систематизации материалов по селевым потокам). «Сборник ГГИ», 1938, №1, с. 21-47.
- Короткий А. М., Макарова Т. Р.** Основные особенности рельефа и экзогенных геоморфологических процессов Курильских островов (проблемные аспекты). Геоморфология. 2006. №2, с. 82-92.
- Косов Б. Ф., Любимов Б. П.** Опыт районирования территории СССР по размываемости покровных горных пород. Эрозия почв и русловые процессы, вып.4, М., 1974.

Кочерга Ф. К. Горномелиоративные работы в УзССР. Ташкент, изд-во Комитета Наук УзССР, 1937, 319 с.

Кочерга Ф. К. Горномелиоративные работы в Средней Азии и Южном Казахстане. М., Лесная пром-ть, 1965, 400 с.

Краевая Т. С. Генетические типы грубообломочных отложений стратовулканов М., Недра, 1977. 126 с.

Крысин Л. П. Толковый словарь иноязычных слов. М., Изд-во «Рус. язык», 1998. 847 с.

Кузнецов К. Л., Булатов В. М. О селевых явлениях на Корякском нагорье. Селевые потоки. Сб. 4. М., Гидрометеиздат, 1980. с. 80–82.

Курдин Р. Д. О классификации селевых потоков. Сб. работ по гидрологии, №11, Л., Гидрометеиздат, 1973, с. 230–240.

Кучай В. К., Дьяконов В. А. К проблеме селевого прогноза. Докл. АН ТаджССР, 1972, т. XV, №12, с. 39–42.

Кучай В. К., Дьяконов В. А. Палеосели и селевой прогноз. “Советская геология”. 1974, №1, с. 113–120.

Лаверов Н. П., Добрецов Н. Л., Богачиков О. А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России. М., Наука, 2005. 604 с.

Лавиноопасные районы Советского Союза. Изд-во Моск. ун-та. 1970. 198 с.

Лапердин В. К., Тржцинский Ю. Б. Роль выветривания в формировании твердой фазы селей (на примере Восточных Саян). Геологические факторы формирования оползней и селевых потоков и вопросы их оценки. М., изд-во Моск. ун-та, 1976, с. 49–54.

Лапердин В. К., Тржцинский Ю. Б. Экзогенные геологические процессы и сели Восточного Саяна. Новосибирск, Наука, 1977, 103 с.

Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М., изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.

Леонтьев Л. Н. Причины селевой активности Закатало-Нухинского участка Большого Кавказа. Тр. АзербНИИГиМ, 1949, т. 1, с. 91–100.

Леонтьев Л. Н. Селевые явления Закатало-Нухинского склона Б. Кавказа и их происхождение. Проблемы физической географии. 1951. вып. 17. с. 119–129.

Лилиенберг Д. А. Тимофеев Д. А. О высотном разделении горных стран. Геоморфологическое картирование. М., Изд-во АН СССР, 1963. с. 172–181.

- Лисневский В.** Об укреплении и облесении горных потоков. Тр. Кавказ. Отд. Импер. Росс. об-ва садоводства. Тифлис, 1898, вып. 9. с. 51–62.
- Лисневский В.** Основания для облесения гор в окрестностях Тифлиса. «Кавказ. Сельское хоз-во», 1894, №16, с. 278–280, № 17, с. 295–296.
- Логвинов К. Т., Раевский А. Н., Айзенберг М. М.** Опасные гидрометеорологические явления в Украинских Карпатах. Л., Гидрометеоиздат, 1973, 199 с.
- Луценко И. И.** Сели в Средней Азии и почему их нужно изучать. Москва-Ташкент. Саогиз. 1934. 24 с.
- Мамедов М. А., Османов Т. О.** К вопросу классификации селей. В сб., Вопросы физической географии и охраны природы Азерб. ССР. Тематический сборник научных трудов (Азерб. Госуд. Ун-т). Баку, 1989, с. 53–60.
- Матвеев С. Н.** Борьба с катастрофическими явлениями грязекаменных потоков (селей) на основе принципов учения о геоморфологических процессах. Вестн. Каз. ФАН СССР, 1946, №2-3, с. 39–43.
- Махатадзе Л. Б.** О растительном покрове и селеобразовании. Тр. Груз. науч.-иссл. ин-та гидротехники и мелиорации, 1951, сб.2 (15), с. 280–286.
- Медеуов А., Н. Ф., Керемкулов В. А.** Сели Казахстана. Алматы, «Гылым», 1993, 159 с.
- Мелекесцев И. В., Краевая Т. С., Брайцева О. А.** Рельеф и отложения молодых вулканических районов Камчатки. М., Наука, 1970, 104 с.
- Методическое руководство по инженерно-геологической съемке м-ба 1:200 000. (1:100 000-1:500 000).** М., Недра, 1978, 391 с.
- Методическое руководство по комплексному изучению селей.** М., «Недра», 1971, 164 с. (Мингео СССР, ВСЕГИНГЕО).
- Мечитов И. И.** Селевые явления в бассейне р. Вохчи (Армянская ССР). Изв. ВГО, 1961, вып. 6, с. 522–527.
- Молчанов А. А.** Влияние леса на среду. Лесное хозяйство и лесная промышленность. М., Лесная промышленность, 1972, с. 143–157.
- Мочалов В. П., Горин А. В.** Водоснежный поток 5 июня 1991 г. на р. Кекурной. Селевые потоки. Сб. 12, М., Гидрометеоиздат, 1992, с. 127–133.
- Мусли Н.** Водная проблема в Сирии. М., ИЛ. 1954, 284 с.
- Мушкетов И. В.** Физическая геология. Т. II, вып. II. СПб., 1905.
- Мягков С. М.** География природного риска. Изд-во Моск. ун-та, 1995, 222 с.

- Набиев Г. Л.** Сели в Азербайджанской ССР, и условия их формирования. Изв. АН Азерб. ССР, сер. Наука о Земле, 1985, №6, с. 76–81.
- Нагорья** Прибайкалья и Забайкалья. М., Наука, 1974, 359 с.
- Назаров И. А.** Ледоселевые потоки на горных реках Казахстана. Тр. Координационного совещ. по гидротехнике, вып. 42. Л., Энергия, 1968. с. 10–115.
- Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И.** Гидравлические закономерности связанных селей. Тбилиси. Мецниереба, 1996. 155 с.
- Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И.** Движение селей и их взаимодействие с сооружениями. Тбилиси, 2001. 148 с.
- Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И.** Основы динамики селей. Тбилиси, 2007. 213 с.
- Неймайр М.** История Земли. Т.1, СПб «Просвещение», 1897, («Внезапные потоки» с. 518–524).
- Непорожний П. С.** Защита гидроэлектростанций от селевых потоков. М.-Л., Госэнергоиздат, 1947. 164 с.
- Нефедов В. Н.** Некоторые результаты обследования селевых очагов Омсукчанского хребта. Селевые потоки. Сб. 6. М., Гидрометеиздат, 1982. с. 84–88.
- Нефедов В. Н., Кузнецов К. Л.** Водоснежные потоки Магаданской области. Селевые потоки. Сб. 7. М., Гидрометеиздат, 1983. с. 106–112.
- Ниязов Р. А.** О наблюдательных инженерно-геологических полигонах по изучению и контролю влияния техногенных факторов на развитие экзогенных процессов “Инженерная геология”, 1986, №4, с. 70–79.
- Олиферов А. Н.** Борьба с эрозией и селевыми паводками в Крыму. Симферополь, Крымиздат, 1963, 92 с.
- Олиферов А. Н.** Меры борьбы с селевыми потоками на территории Украинской ССР. М., 1968, 39 с. (ОНТИ ВИЭМС, сер. «Гидрогеол. и инж. геол.», №8)
- Олиферов А. Н.** Некоторые особенности наносов малых селевых водотоков Крыма и Карпат. «Метеорология, климатология и гидрология». Межвед. науч. сб., Киев, 1969, вып. 4, с. 225–231.
- Олиферов А. Н.** Селевые потоки в Крыму и Карпатах. Симферополь, Доля, 2007, 175 с.
- Опасные** гидрометеорологические явления на Кавказе. Л., Гидрометеиздат, 1983, 264 с.

Оползни и сели. Сб. докл. Междун. семинара в Алма-Ате, окт. 1981 г. М., Центр Междун. проектов ГКНТ, 1982, 467 с.

Оползни и сели. Т.1,2 М., Центр Междун. проектов ГКНТ, 1984.

Осипов В. И. Природные и природно-техногенные катастрофы: состояние проблемы и приоритеты. Тез. докл. участников II Междунар. конф. «Безопасность и экология горных территорий» 25–30 сен. Владикавказ, 1995, с. 36–39.

Османов Т. О. Селевые потоки Копетдага. Автореферат дис. канд.г.н. Ашхабад, 1990, 24 с.

Палеогеоморфологический атлас СССР. Л., 1983.

Панов В. Д., Лурье П. М., Заруднев В. М. Селевые потоки в бассейне реки Герхожансу (Северный Кавказ) в июле 2000 г. Метеорология и гидрология. 2001, №2, с. 89–97.

Парамонов Б. А. Формирование твердой фазы селевого потока на р. Иссык 7 июля 1963 г. Селевые потоки, сб.1. М., Гидрометеиздат, 1976, с. 88–92.

Перов В. Ф. Мелкомасштабные карты селевых явлений. Снежные лавины, сели и оценка риска. вып. 2. М., «Университетская книга», 2009, с. 94–109.

Перов В. Ф. Селевая корразия. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. Междун. конф., Пятигорск, Россия, 22–29 сент. 2008 г., Пятигорск, 2008. с. 181–184.

Перов В. Ф. Опыт составления обзорной карты «Риск селей» на территорию Росс. Федерации. Пробл. прогнозирования чрезвычайных ситуаций. V науч.-практ. конф. 15–16 ноября 2005 г. Докл. и выступл. М., ООО «Рекл. Издат. Фирма «МТП-инвест», 2006, с. 277–285.

Перов В. Ф. Режим селей. В сб.: Снежные лавины, сели и оценка риска. МГУ, Геогр. ф-т, М., 2004, с. 41–59.

Перов В. Ф. Типология горных водосборов с проявлением селевого процесса. Тр. Всерос. конф. по селям. Нальчик, 2003, с. 99–106.

Перов В. Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. Изд-во МГУ, 1996. 45 с

Перов В. Ф. Хозяйственная деятельность и активизация селевых процессов в горных районах СНГ. Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. Изд-во Моск. ун-та, 1992, с. 126–134.

Перов В. Ф. К оценке селевой опасности юго-западной части Магаданской области. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата. «Казахстан», 1984, с. 191–197.

Перов В. Ф. К унификации возрастных категорий селевых явлений. Бюл. МОИП, отд. геол., 1984, т. 59. вып. 2. с. 131–132.

Перов В. Ф. Селевые явления западной части плато Путорана. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, «Казахстан», 1981, с. 212–219

Перов В. Ф. Мелкомасштабное картографирование селеопасных территорий СССР. В кн. Геоморфологическое картографирование в мелких масштабах. М., МГУ, 1976, с. 169–176.

Перов В. Ф. Опыт использования дендрохронологического метода для изучения частоты схода селей Хибин. В кн.: Фитоиндикационные методы в гляциологии. М., 1971, с. 42–49.

Перов В. Ф. Селевые потоки Хибинского горного массива. Вестник Моск. Унта. География, 1966, №1, с. 106–110.

Перов В. Ф. Селевые явления на территории СССР. (ГКНТ СССР, АН СССР. ВИНИТИ. Итоги науки и техники, сер. “Гидрология суши”, том 7). М., 1989, 149 с.

Перов В. Ф. Материалы к изучению снежников, ледников и мерзлотного рельефа Хибинских гор. Инф. сб. о работах Геогр. ф-та МГУ по прогр. МГГ, М.: Изд-во МГУ, 1965, №11, 192 с.

Перов В. Ф., Артюхова И. С., Бударина О. И., Сидорова Т. Л. База данных селевых бассейнов Северного Кавказа: состояние и развитие. Тез. докл. междунар. конф. «Мониторинг криосферы» 20–23 апр. 1999 г. Пущино, 1999, с. 207.

Перов В. Ф., Бударина О. И. Сели. Карта, м-б 1:15000000. Национальный атлас России в четырех томах. Т.2. М., Роскартография, 2007.

Перов В. Ф., Кириченко А. В., Лаптев М. Н. Оценка лавинной и селевой опасности зоны БАМ. Человек и природа в зоне БАМ. Иркутск, 1984. с. 59–68.

Перов В. Ф., Сейнова И. Б., Золотарев Е. А. Колебания селевой активности и изменение климатических условий в Приэльбрусье. Колебания климата за последнее тысячелетие. Л., Гидрометеиздат, 1988, с. 145–151.

Перов В. Ф., Сидорова Т. Л. Метеорологические условия формирования водоснежных потоков. Матер. гляциол. исслед., вып. 64, 1988, с. 41–47.

Петров Н. Водное хозяйство Закавказья. «Ежегодник отдела земельных улучшений, 1909». СПб, 1910, с. 178–214.

Петров Н. Обзор деятельности инспекции вод на Кавказе в 1912 г. «Ежегодник отдела земельных улучшений, 1912». СПб, 1913, с. 288–317.

Познанин В. Л. Сели северной части Полярного Урала. Изучение и охрана гидросферы. М., 1975. с. 10–11.

Познанин В. Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф: Колка 2002. М., ИМГРЭ, 2009. 181 с.

Подобедов И. С. Физическая география. Ч. II. Геоморфология. М., Изд-во геодезич. лит-ры, 1954. 263 с.

Псарев М. О движении сели (овражных выносов), бывшем причиною катастрофы в г. Ордубате и в селении Акулисах Нахичеванского уезда. – «Зап. Кавказского отделения РГО». Тифлис, 1885, т. 17, с. 1–16.

Пыльцов Н. Н. О внезапных наводнениях и селях в Нухинском уезде Елисаветпольской губернии. Изв. Кавказ. Отд. ИРГО, 1904, т. 17, №4, с. 244–282.

Пушкаренко В. П., Ни В. А. Завальные озера Средней Азии и проблемы регионального прогноза предпрорывного состояния их плотин. Проблемы противоселевых мероприятий, Алма-Ата, 1986, с. 100–110.

Пушкаренко В. П., Никитин А. М. Опыт регионального исследования состояния плотин горных озер Средней Азии и характер формирования прорывных селей. Оползни и сели, т. 2. М., 1984, с. 17–32.

Равиндер К. Панде. Причины активизации оползней в Центральных Гималаях (Индия). Вестн. МГУ, сер. 5, 1989, №4. с. 77–79.

Раунер С. Лесоразведение в горах Таджикистана и Закавказья, как мера успешной борьбы с бурными горными потоками (сообщение). «Лесной журнал», 1902, вып. 4, с. 927–935.

Раунер С. Селевые потоки Закавказья и способы их укрепления. «Лесной журнал», 1903, вып. 1, с. 1–21; вып. 2, с. 291–320.

Раунер С. Ю. Горные леса Туркестана и значение их для водного хозяйства края. Работы по облесению горных склонов с целью прекращения селевых потоков. СПб., изд-во А. Ф. Девриена, 1901, 33 с.

Районирование территории СССР по основным факторам эрозии. М., 1965. 235 с.

Рахманов В. . Гидроклиматическая роль лесов. М., Лесная промышленность, 1984. 240 с.

- Ресурсы** поверхностных вод СССР. Т. 14. вып. 3. Бассейн р. Аму-Дарьи. Л., Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
- Ресурсы** поверхностных вод СССР. Т. 14. вып. 1. Бассейн р. Сыр-Дарьи. Л., Гидрометеиздат, 1969. 438 с.
- Рощин И. И.** К вопросу о методах борьбы с селевыми потоками и наводнениями в Закавказье. Бюлл. Закавказ. научно-исслед. ин-та водн. хоз-ва), №7. Тифлис, 1931, с. 119–151.
- Руководство** по изучению селевых потоков. Л., Гидрометеиздат, 1976. 144 с.
- Руководящий** документ. Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям; вып. 1. Организация и проведение работ по изучению селей. РД 52.30.238–89. М., Гидрометеиздат. 1990. 198 с.
- Рустамов С. Г.** Селевые потоки в Азербайджане. Тр. Ин-та географии АН Азерб. ССР. 1957. 7. с. 243–275.
- Рустамов С. Г., Мадатзаде А. А., Будагов Б. А., Назирова Б. Т.** Селевые потоки бассейна реки Курмухчай. Баку. Элм, 1971. 226 с.
- Рыбкина М. П.** О причинах образования селей 7-8. IV. 1959 г. Тр. Каз. НИГМИ, 1962, вып. 17, с. 31–38.
- Садов А. В.** Аэрометоды изучения селей. М., Недра, 1972. 126 с.
- Салихова Д. Х., Ляховская Л. Ф.** Прогноз паводков и селевой опасности на территории Узбекистана. Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда, т. 7, Л., Гидрометеиздат., 1989. с. 350–356.
- Сватков Н. М.** Некоторые результаты изучения мерзлотных процессов в Русской гавани в 1957–1959 гг. Исследования ледников и ледниковых районов, вып.3. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Сейнова И. Б., Золотарев Е. Ф.** Ледники и сели Приэльбрусья (Эволюция оледенения и селевой активности). М., Научный мир, 2001. 204 с.
- Селевой** паводок в г. Слюдянке на Байкале 20 июня 1960 г. Ред. Солоненко В. П. М., Изд-во АН СССР, 1963. 72 с.
- Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита.** Тр. Междун. Конф., Пятигорск, Россия. 22–29 сентября 2008 г. Пятигорск, 2008. 396 с.
- Селевые** потоки Узбекистана. Ташкент, 1965. 66 с.
- Селевые** явления бассейна р. Кишчай и мероприятия по борьбе с ними. Баку. Изд-во АН Аз. ССР, 1965. 139 с.

Селевые явления, селеопасные районы и карта селевой опасности Грузинской ССР. (Пояснительный текст к карте). Под ред. ктн. Г. И. Херхеулидзе. Тбилиси, 1987. 7 с.

Сидорова Т. Л. Оценка селевой деятельности по климатическим параметрам. Автореферат канд. геогр. наук, М., 1997, 20 с.

Сидорчук А. Ю. Эрозионные и денудационные процессы в Новой Зеландии и формирование стока наносов. Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 16. М., 2008. с. 32–73.

Симонов Ю. Г. Балльные оценки в прикладных географических исследованиях и пути их совершенствования. Вестн. Моск. ун-та, сер. 5, география, 1997, №3, с. 7–10.

Соколовский Д. Л. Гидрология селей и методика их изучения. Селевые потоки и меры борьбы с ними. М., изд-во Акад. наук СССР, 1957, с. 91–97.

Соколовский Д. Л. Речной сток (основы теории и методики расчетов). Л., Гидрометеиздат, 1968, 539 с.

Спекторман М. Д. Скоростные характеристики экспериментальных селевых потоков. Селевые потоки, сб. 1. М., Гидрометеиздат, 1976, с. 44–48.

Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование. М., Недра, 1975. 182 с.

Статковский Б. И. Исследование причин происхождения периодического Казбекского завала. Журнал путей сообщения, 1866, т. 3, кн. 3, с. 1–34.

Степанов Б. С. Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений. М., Гидрометеиздат, 1982, 136 с.

Степанов Б. С. Степанова Т. С. Механика селей. Эксперимент, теория, методы расчета. М., Гидрометеиздат, 1991. 379 с.

Степанов И. Н. Селевой поток на р. Кенколсай. Тр. Каз. науч.-исслед. гидромет. ин-та. вып. 33. 1969. с. 157–158.

Степанян В. Э., Бойнагрян В. Р., Габриелян В. В., Снгрян Э. Э. Актуализация схемы инженерной защиты территории г. Иджевана от селевой опасности и обоснование приоритетности воздействия селезащитных сооружений, исходя из степени риска. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. Междун. конф., Пятигорск, Россия, 22–29 сент. 2008 г. Пятигорск, 2008, с. 359–362.

Степанян В. Э. Бойнагрян В. Р., Манукян Л. А., Габриелян В. В., Гурджян Ю. Г., Снгрян Э. Э. Комплексное решение проблем экологической и

производственной безопасности территорий размещения законсервированных хвостохранилищ от селепроявления в Зангезурском регионе Сюникской области Армении. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. междуна. конф., Пятигорск, Россия, 22 сент. 2008 г., Пятигорск, 2008, с. 355–358.

Строительная климатология и геофизика. СНиП 2.01.01.-82. М., Стройиздат, 1983, 136 с.

Суловский В. И., Коджаспиров А. А. Измерение скорости денудации склона методом микронивелировок. Сели в горных районах СССР. Изд-во Моск. ун-та, 1979, с. 103–111.

Суцевский А. Г. Эволюция равнинных ландшафтов северо-западной Индии. Состояние природной среды в зарубежных странах, М., изд. МГУ, 1974, с. 114–129.

Таланов Е. А. Региональная оценка эколого-экономического риска от водной эрозии и селей. Алматы, 2007. 350 с.

Тевзадзе В. И. Селезащита и создание искусственной суши – в едином комплексе. «Гидротехника и мелиорация», 1982, №11. с. 92–93.

Тевзадзе В. И. Распространение эрозионно-селевых явлений в Японии. «Гидротехника и мелиорация», 1975, №12, с. 97–101.

Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М., Недра, 1985, 332 с.

Тер-Манасян Р. О. Прогнозирование риска селеносных водотоков Армении. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. междуна. конф. Пятигорск, 2008, с. 78–80.

Тер-Степанян Г. И. О лавинном механизме связанных (гидродинамических) селей. Пробл. геомеханики, Ереван, 1968, №2, с. 31–38.

Титов В. И. Климатические условия Афганистана. М., Гидрометеиздат, 1976, 260 с

Торосян З. Н. Изучение эродированных участков селеносных водотоков по крупномасштабным аэрофотосъемкам. Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. вып.1. М., 1972, с. 179–182.

Торосян З. Н. Антропогенные факторы активизации экзогенных процессов и аридизации территории республики Армения. В сб.: Биогеогр. и экологич. аспекты процесса опустынивания в аридных и семиаридных регионах (матер. конф.). Ереван, 2000, с. 109–110.

- Торосян З., Джрбашян Э.** Определение селевого стока на примере республики Армения. Водные проблемы, Ереван 2001, №7-9, с. 391-394.
- Тржцинский Ю. Б., Будз М. Д., Зарубин Н. Е.** Оползни, сели, термокарст в Восточной Сибири и их инженерно-геологическое значение. М., Наука, 1969. 136 с.
- Трофимов Н. М.** Селевые воды Туркмении. Ашхабад, Туркменгиз, 1937, 147 с.
- Тукеев О. В.** Селевые явления Памира: катастрофы, закономерности, прогноз. М., 2002, 176 с.
- Условия формирования** и прохождения катастрофических паводков на реках Карпат в июне 1969 г. (технич. отчет). Киев, 1970. 55 с.
- Физико-географический атлас мира.** М., ГУГК, 1964, 298 с.
- Формирование оползней, селей и лавин.** Инженерная защита территорий. М., изд-во МГУ, 1987. 180 с.
- Фролов В. Т.** Генетическая типизация морских отложений. М., Недра, 1984. 222 с.
- Хайдаров А. Х., Шевырталов Е. П.** Селевые явления в песках Жаманкум 28-29 января 1988 г. Селевые потоки, сб. п. М., Гидрометеиздат, 1989, с. 49-59.
- Херхеулидзе И. И.** Максимальные расходы селевых паводков. Борьба с горной эрозией почв и селевыми потоками в СССР. Ташкент, 1962, с. 225-229.
- Херхеулидзе И. И.** Сквозные защитные и регулирующие сооружения из сборного железобетона на горных реках. М., Гидрометеиздат, 1967. 131 с.
- Херхеулидзе Г. И., Церетели Э. Д., Татошвили С. Г.** Селевые явления и селеопасные районы Грузинской ССР. Тр. Закавказ. регион. НИИ Госкомгидромета. 1984. вып. 83(90), с. 10-27.
- Хмаладзе Г. Н.** Селевые потоки в Армении и условия их формирования. Тр. Закавказ. науч.-исслед. гидромет. ин-та. 1963. вып. п. с. 79-110.
- Хмаладзе Г. Н.** Селевые потоки в Грузии. Тр. Тбил. Науч.-исслед. Гидромет. ин-та. 1961. вып. 8 с. 68-93.
- Ходаков В. Г., Ильина Е. А.** Снежно-ледовые явления на Полярном Урале. МГИ, вып. 65, 1989, с. 110-118.
- Хоменюк Ю. В., Плеханов П. А., Токмагамбетов Г. А., Максимов А. Б.** Фоновый прогноз гляциальных селей (методическое руководство) Алма Ата, Наука, 1985, 62 с.

Хонин Р. В. Селевые очаги и основные закономерности их распространения.

Селевые потоки, сб. 3. М., Гидрометеиздат, 1978, с. 21–41.

Церетели Э. Д., Таташидзе З. К., Куцнашвили О. В. Проблемы минимизации последствий стихийных геологических явлений и устойчивое развитие горной территории Кавказа. Тез. докл. IV межд. конф. «Устойчивое развитие горных территорий: пробл. регион. сотруду. и регион. политики горных районов». 23–26 сен. 2001, Владикавказ. М., «Арт-Бизнес-Центр». 2001, с. 468–469.

Церетели Э. Д., Церетели Д. Д. Геологические условия развития селей в Грузии. Тбилиси. Мецниереба. 1985. 186 с.

Церетели Э. Д., Бордзенишвили Д. П., Таташидзе З. И., Челидзе Т. Д., Тавелишвили О. Г., Херхеулидзе Г. И., Тевзадзе В. И. Особенности формирования катастрофических селей в бассейне р. Дуруджи и безопасность г. Кварели. Тр. Междун. конф. «Эрозионо-селевые явления и некоторые смежные проблемы». Тбилиси, 2001, с. 229–235.

Цовян М. В. Селевые явления на территории Армянской ССР. Борьба с горной эрозией почв и селевыми потоками в СССР. Ташкент, 1962, с. 239–246.

Цовян М. В. Условия образования селевых потоков и их распространение на территории Армянской ССР. Тр. Арм. науч.-исслед. ин-та гидротехники и мелиорации. 1960. 5. с. 231–260.

Чалмаев Л. В. Использование материалов космической фотосъемки при среднемасштабном картографировании селевых явлений (на примере территорий Узбекской и Киргизской ССР). Тр. САРНИГМИ, 1990, вып. 133 (214), с. 25–35.

Черкасов А. Е., Шумеев В. П., Батсух Н. Селевые паводки в бассейне озера Хубсугул летом 1971 г. В сб.: Природные условия и ресурсы Прихубсугуля (Монгольская Народная Республика) Тр. Советско-монгольской комплексной Хубсугульской экспедиции. Вып. 1. Иркутск – Улан-Батор. 1972, с. 87–89.

Черноморец С. С. Селевые очаги до и после катастроф. М., Научный мир, 2005. 184 с.

Чуб В. Е., Трофимов Г. Н., Имаджанов Х. А. Селевые потоки в Узбекистане. Тр. Всерос. конф. по селям 26–28 окт. 2005 г. М., Изд-во ЛКИ, 2008, с. 106–112.

Шарабаев В. А., Ашуров С. Обуздание селевых потоков. Душанбе. Ирфон, 1972. 67 с.

Швер Ц. А. Атмосферные осадки на территории СССР. Л., Гидрометеиздат 1976. 302 с.

Шустер Р., Лейтон Б. Административные и юридические аспекты, связанные с оползнями и селями в штате Калифорния. В кн. Оползни и сели, т. 2. М., 1984, с. 211–221.

Щукин И. С. Общая геоморфология, т. I. Изд-во Моск. ун-та, 1960. 615 с.

Эзимов С. Э. Селевые явления в Туркменской ССР и меры борьбы с ними. Аш-хабад. 1980. 58 с.

Экологический атлас России. ЗАО «Карта», 2002. 128 с.

Яблоков А. А. Причины катастрофического паводка р. Ангрен в 1959 г. Изв. Всес. геогр. об-ва. 1961. т. 93. вып. 3. с. 264–266.

Яблоков А. А. Сели Таджикистана. Душанбе, 2009. 87 с.

Яблонский В. В. Об определении продолжительности селя и расчете его основных характеристик. Тр. УкрНИГМИ, 1977, вып. 153, с. 66–74.

Якутилов М. Р. Сели и борьба с ними в Таджикистане. Душанбе. Ирфон, 1966. 78 с.

Яфязова Р. К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. Алматы, 2007, 158 с.

Arattano M., a. Grattoni P. Using a fixed video camera to measure debris-flow surface velocity. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Rotterdam, Balkema, 2000, p. 273–281.

Brenner R. P., Wieland M. Wid-spread mass wasting phenomena in a tropical monsoon area. Intern. Sympos “Interpraevent 1992, Bern”, Tagunspublication, Band 2, s. 37–48.

Bălteanu Dan. Romania. Geomorphological Hazards of Europe. Elsevier, 1997. p. 409–412.

Cheng Y. D., Su R. R., Wu H. L. Hydrometeorological and site factors contributing to disastrous debris-flows in Taiwan. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Proceed. of the second intern. confer. Taiwan 16–18 aug 2000. Balkema, Rotterdam, 2000, p. 583–592.

Claque J. J., Evans S. G., Blown J. G. A debris flow triggered by the breaching of a moraine-dammed lake, Klattasine Greek, British Columbia. Can. J. earth sciences. 1985. vol. 56. №1. p. 63–68.

Debris flow in Gansu province. Publishing House of People's Transportation, 1982. 190 с.

Frech F. V. Vortrag. Über Wildbäche (Muren). Aus der Vorzeit der Erde. Leipzig, 1905, s. 87–107.

Gartner H., Stoffel M., Lievre J., Conus D., Grichting V., Monbaron M. Debris-flow frequency derived from tree-ring analyses and geomorphic mapping, Valais, Switzerland. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction a. Assessment. Rotterdam, Milepress, 2003, p. 207–217.

Genevois R., Tecca P. R., Berti M., a. Simoni A. Debris-flow in the Dolomites: Expdate from a monitoring system. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction a. Assessment. Rotterdam, Balkema, 2000, p. 283–291.

Guzzetti F., Crosta G., Marchetty M., Reichenbach P. Debris flow triggered by the July 17–19 1987 storm in the Valtellina area (Northern Italy). Internat. Sympos. Interpraevent 1992. Bern, Tagungspublication, Band 2. s. 193–204.

Hestnes and Sandersen F. Slushflow activity in the Rana district, North Norway. Avalanche Formation and Effects. JAHs Publ. no. 162. 1987. p. 317–330.

Hochwasser und Lawinenschutz in Tirol. Innsbruck, 1975.

Innes J. L. Lichenimetric dating of debris-flow deposits in the Scottish Highlands. Earth surface processes a. landforms. 1983. vol. 8, N6. p. 579–588.

Jakob M. a. Hungr O., ed. Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Springer. Publ. in assoc. with Praxic Publishing. Chichester, UK, 2005.

Jian Li, Jingrui Wang. The mudflows in Xiaojiang Basin. “Z. geomorphol.,” 1986, Supplem. Bd. 58, p. 155–164.

Kenneth A. Debris flow during intense rainfall in Snowdonia, North Wales: a preliminary survey. Earth Surface Process and Landforms, 1987, 12 N°5, p. 561–566.

Luckman B. H. The geomorphology of the Alberta Rocky Mountains. A review and commentary. Zeitschrift für geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd. 37, 1981, p. 91–119.

Map of debris flow Distribution and Danger degree division in Sichuan and Chongqing. Sc. 1:1 000 000. Ed. Zhong Dunlun a. oth. Chengdu, 1997.

Morales Arnao B. Glaciers of Peru. Satellite image Atlas of glaciers of the World. Washington, 1998. vol. 1 Glaciers of South America. Ed. R. S. Williams, Y. G. Ferrigno. P. 151–179.

Nyberg R. and A. Rapp A. Extreme Erosional Events and Natural Hazards in Scandinavian Mountains. Ambio, vol. 27, N°4, June 1998.

Onesti L. J. Slushflow activity in the Atigun Pass area. Permafrost and Related features. Guidebook Intern.confer. on permafrost. Fairbanks, Alaska, 1983.

- Perov V. F., Artyukhova J. S., Budarina O. I., Glazovskaya T. G. and Sidorova T. L.** Map of the World Mudflow Phenomena. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment Proceedings of first International Conference, San-Francisko, 7–9 aug. 1997. New York, 1997, p. 322–331.
- Schuster R. L.** Outburst debris-flow failure of natural dams. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Balkema, Rotterdam, 2000, p. 29–42.
- Scott K. M.** Precipitation-triggered debris-flow at Casita Volcano, Nicaragua: Implication for mitigation strategies in Volcanic and tectonically active steeplands. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Proc. of the sec. intern. conf. Taiwan, 16–18 aug. 2000. A. A. Balkema, Rotterdam, 2000.
- Stefanidis P., Kotoulas K.** Accelerate erosion after the forest fires in Greece. Internationales Symposium Ynterpraevent 1992. Bend 1. p. 365–376.
- Stefanini M. c. a. Ribolini A.** Dendrogeomorphological investigation of debris-flow occurrence in the Maritime Alps (northwestern Italy). Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Rotterdam, Millpress, 2003, p. 231–242.
- Tomasson G. G., Hestnes E.** Slashflow Hazard and mitigation in Vesturbyggd, Northwest Iceland. Nord. Hydrol: an international Journal, 2000, 31, №5, p. 399–410.
- Wenjun W., Shucheng Z., Yayi W., Guoxiang C.** Properties of glacial debris flow in the Guxiang gully, Xizang. Memoirs of Lanzhou institute of glaciology and cryopedology Shinese academy of schiences, №4. 1985, p. 19–35.
- Wieczorek G. F., Mossa G. S., Morgan B. A.** Regional Debris flow distribution and preliminary risk assessment from severe storm events in the Appalachian Blue Ridge Province, USA. Landslides, №1, 2004, p. 53–59.
- Zhong Dunlun a. oth.** Debris flow in Beijng Mountains. 2004.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ
Вениамин Федорович Перов

С Е Л Е В Е Д Е Н И Е

Зав. редакции:	<i>Н. Г. Гончарова</i>
Редактор:	<i>В.А. Стряпчий</i>
Компьютерная верстка:	<i>Т. А. Леонтьева Т. И. Туниянц</i>