

550

С 14

АЭРОМЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕЙ

А. В. САДОВ

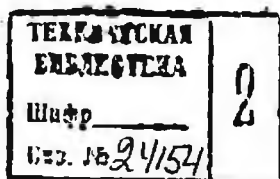


77 2004

А. В. САДОВ

550
С 14

АЭРОМЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1972

Садов А. В. Аэрометоды изучения селей. М., «Недра», 1972, 128 стр.

В книге показана возможность применения аэрометодов при изучении условий селеобразования в горных районах. Охарактеризованы особенности дешифрирования основных компонентов геолого-географической среды, влияющих на условия селеобразования, а также очагов зарождения, участков транзита и области аккумуляции селей. Сделаны практические выводы по использованию цветной и спектральной аэрофотосъемки, количественному дешифрированию и аэровизуальным наблюдениям при изучении селеопасных районов. Даны рекомендации по организации и методике исследований с использованием аэрометодов.

Подобная работа по применению аэрометодов при изучении селей издается впервые и она будет способствовать более широкому внедрению аэрометодов в практику исследований этого сложного природного процесса.

Книга рассчитана на инженеров-геологов, геоморфологов, гидрологов, изыскателей и проектировщиков, занимающихся изучением горных районов с целью оценки степени селеопасности территории и разработки противопелевых мероприятий.

Таблиц 7, иллюстраций 51, список литературы — 124 названия.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Селевые потоки относятся к числу наиболее грозных стихийных явлений природы. Они наносят огромный ущерб народному хозяйству и населению горных и предгорных районов различных стран мира. Поэтому проблема селей и борьба с ними давно волнует человечество. Особенно интенсивно проводятся исследования селей в Советском Союзе. Отличительной особенностью этих исследований является комплексность подхода к изучению всех природных факторов селеобразования и их взаимодействия с целью обоснованного прогноза селевых явлений и разработки мероприятий по борьбе с ними.

Специфика таких исследований, осуществляемых в труднодоступных высокогорных районах и требующих больших затрат сил и средств, вызывает необходимость более широкого внедрения в практику изучения селей новых прогрессивных методов, важное место среди которых занимают аэрометоды. Дешифрирование материалов аэрофотосъемки и аэровизуальные наблюдения при рациональном их сочетании с наземными обследованиями дают возможность получать при минимальных затратах времени значительное количество информации, позволяющее оценить селеопасность исследуемых районов и подойти к обоснованному прогнозированию образования селей.

Однако аэрометоды до сих пор не находят достаточно широкого применения при изучении селей, а методические аспекты этой проблемы пока не получили достаточно полной и всесторонней разработки.

Предлагаемая читателю книга в известной мере восполняет этот пробел как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Она предназначена для широкого круга специалистов по инженерной геологии и другим родственным специальностям, которые занимаются изучением горных территорий в связи с их хозяйственным освоением.

Работа написана на основе обобщения многолетнего опыта в области практического применения аэрометодов при изучении селевых явлений в районах Юго-Восточного Казахстана, Узбекистана, Алтая и Забайкалья, а также изучения опубликованной литературы по данному вопросу.

Автор выражает большую благодарность коллективу сотрудников ВСЕГИНГЕО Ю. Б. Елисееву, Р. Н. Чалидзе, Л. В. Усовой, Б. А. Парамонову и аспирантке Л. А. Ермолаевой, проводившим вместе с автором экспериментальные исследования по изучению селей и оказавшим большую помощь в подготовке настоящей книги. Он выражает глубокую признательность доктору географических наук С. В. Викторову за ценные замечания и рекомендации, полученные при подготовке рукописи к печати.

Автор сознает, что работа не лишена недостатков и просит направлять критические замечания и пожелания по адресу: Москва; В-17, ул. Большая Ордынка, 32, ВСЕГИНГЕО.

ГЛАВА I

КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОМЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЛЕЙ

В последние годы в практику геолого-географических исследований стали широко внедряться аэрометоды. Большой успех в этом деле был обусловлен разработкой новой методической основы дешифрирования — ландшафтно-индикационного метода, который обеспечивает получение информации не только о компонентах ландшафта, отобразившихся на аэроснимках, но и таких «скрытых» компонентов, как геологическое строение, подземные воды, которые имеют первостепенное значение для инженерно-строительной оценки территории. Аэрометоды применяются в настоящее время при инженерно-геологических съемках всех масштабов и различных работах специализированного назначения, в частности при изучении оползней, карста и многих других геологических процессов и явлений. Для изучения условий селеобразования аэрометоды начали применяться сравнительно недавно. Немногочисленные выполненные работы носили в основном экспериментальный характер и рассматривали лишь отдельные аспекты селевой проблемы.

Первая по времени работа, посвященная использованию материалов аэрофотосъемки при геолого-геоморфологическом изучении селей, принадлежит Л. Е. Смирнову (1959). В ней автор раскрывает широкие возможности дешифрирования условий селеобразования и приводит конкретный пример выявления отдельных элементов селевой системы (очагов зарождения, транзита и аккумуляции) по аэроснимкам. Автор рекомендует проведение повторных аэрофотосъемок для установления направленности и интенсивности эрозионных, денудационных и селевых процессов.

Некоторые вопросы дешифрирования селей рассмотрены в работе М. А. Лиссовского (1954).

Материалы аэрофотосъемки использовались селевой службой Армянской ССР при составлении карты эродированности, которая послужила основой для установления активных площадей и очагов селеобразования (Цовян, 1962).

Интересные данные об использовании аэрофотометода при изучении селей высокогорья и оценки степени селеопасности терри-

тории Приэльбрусья приводят Г. Н. Голубев и И. А. Лабутина (1966 г.). Они описывают дешифровочные признаки селей долин и склонов. Причем основное внимание уделяют геоморфологическим особенностям проявления двух типов селевых потоков — ледниковых и лавинно-эрозионных в области зарождения, транзита и аккумуляции.

Во временных методических указаниях по инженерно-геологическому изучению селей (ВСЕГИНГЕО, 1964 г.) и в «Методике комплексного изучения селевых процессов в горно-таежных районах Сибири» (Иркутск, 1966 г.) подчеркивается необходимость использования аэроснимков в подготовительный этап исследований для определения площади водосборов, густоты речной сети, морфологических характеристик отдельных бассейнов, характера растительности, степени обнаженности территории, а также выявления районов распространения селевых явлений, очагов зарождения селей, объемов выноса и мест аккумуляции твердого материала и т. д. Однако эти документы ограничиваются лишь констатацией некоторых возможностей дешифрирования аэроснимков при изучении селей и не освещают всей глубины затрагиваемого вопроса.

Автор настоящей работы занимался специальным изучением вопроса применения аэрометодов при инженерно-геологических исследованиях селей. Под его руководством и при непосредственном участии проведены исследования в горных районах Заилийского Алатау, Алтая, Узбекистана и Забайкалья, которые являются типичными по характеру развития и проявления селевых процессов.

Были изучены возможности дешифрирования отдельных факторов селеобразования гидрографических, геоморфологических, геологических, почвенно-растительных, антропогенных, а также очагов зарождения участков транзита и аккумуляции селей.

Результаты этих исследований изложены в ряде статей (Садов, 1969; Садов, Ермолаева, 1969) и сборнике «Инженерно-геологическое дешифрирование материалов аэрофотосъемки» (1969).

За рубежом изучение селей по материалам аэрофотосъемки проводилось Гавриловичем в одном из районов Югославии (Gavrilovič, 1957). Аэроснимки использовались им для составления карт залесенности и эродированности склонов при оценке селеопасности территории.

ГЛАВА II

МАТЕРИАЛЫ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ СЕЛЕОПАСНЫХ РАЙОНОВ

При изучении селей, как правило, используются материалы аэрофотосъемки, выполненные специализированными предприятиями ГУГКа, Сельхозаэросъемки, Леспроекта и др. для топографи-

ческих, сельскохозяйственных, лесоустроительных и иных целей. Только в отдельных случаях при отсутствии материалов аэрофотосъемки или плохом их качестве, а также при изучении динамики селевых процессов производят специальные аэрофотосъемочные работы.

При подборе материалов аэрофотосъемки прежних залетов и оформлении заказов на их изготовление, а также для составления задания на производство аэрофотосъемочных работ необходимо учитывать ряд требований, обуславливающих полноту, качество и достоверность информации, получаемой с аэроснимков. К их числу относятся: общие технические требования к аэрофотосъемке; масштаб аэроснимков, тип аэрофотоаппарата, тип аэропленки, время и условия фотографирования.

Технические требования к материалам аэрофотосъемки для изучения селей соответствуют общим техническим требованиям к аэрофотосъемке для геологических работ в горных районах, сформулированных в ряде документов (Предварительные рекомендации по оценке пригодности имеющихся аэроснимков и по определению условий аэрофотосъемки для геологических работ, 1964; Технические указания по использованию аэропленок при аэрофотосъемке для геологических целей, 1966)..

Масштаб аэроснимков определяет возможности дешифрирования условий селеобразования и проявления селевых процессов. Он выбирается в зависимости от природных условий местности, детальности исследований и экономических соображений. С увеличением масштаба аэроснимков появляется больше деталей, что способствует распознаванию отдельных внешних компонентов ландшафта непосредственно на аэроснимках по их дешифровочным признакам. Однако на крупномасштабных аэроснимках, охватывающих небольшие по площади участки, плохо отображается взаимное расположение природных комплексов, труднее устанавливаются границы между ними, что затрудняет использование косвенных признаков, основанных на ландшафтных взаимосвязях. Кроме того, укрупнение масштаба аэроснимков резко увеличивает стоимость материалов аэрофотосъемки и объем работ по дешифрированию. Учитывая все это, необходимо выбрать такой масштаб аэроснимков, который с минимальными затратами сил и средств обеспечивал бы получение необходимой информации. Таким образом, оптимальным следует считать масштаб аэроснимков, обеспечивающий дешифрирование как отдельных компонентов, так и всего ландшафта в целом. Специфика исследований условий образования и проявления селевых процессов требует изучения комплекса природных факторов. Основное внимание при дешифрировании уделяется изучению сложных взаимоотношений рельефа, геологического строения, современных геологических процессов и выявлению очагов селеобразования, селевых лотков и конусов выноса. Для этой цели могут быть использованы плановые аэроснимки в диапазоне масштабов 1 : 5000—1 : 40 000.

Для обзорных исследований условий формирования селей и оценки селеопасности территории, сопровождаемых мелкомасштабной инженерно-геологической съемкой 1:200 000, оптимальным следует считать масштаб аэроснимков 1:30 000—1:40 000.

При детальном изучении отдельных селевых бассейнов с целью разработки противоселевых мероприятий, которое сопровождается инженерно-геологической съемкой масштаба 1:50 000 или 1:25 000, оптимальный масштаб аэроснимков 1:15 000—1:10 000. Для изучения динамики современных геологических процессов на отдельных участках могут найти применение крупномасштабные аэроснимки порядка 1:5000. Для выборочного перспективного фотографирования наиболее приемлемый масштаб 1:500—1:2000 (по главной горизонтали).

Тип аэрофотоаппарата (АФА) существенно влияет на качество и дешифровочные свойства аэроснимков. Для торных районов, в которых формируются селевые очаги, наиболее целесообразно использование АФА с фокусным расстоянием более 200 мм. При этом полученные аэроснимки приближаются к плановому изображению местности, улучшается плановая привязка контуров и уменьшаются ошибки за рельеф на таких аэроснимках. Кроме того, длиннофокусные АФА позволяют осуществлять аэрофото съемку на цветную и спектрзональную пленки, не применяя специальных оптимизаторов.

В процессе работ по использованию аэрометодов при изучении селей важно сделать правильный выбор аэропленки для фотографирования местности и оценить ее информационные возможности. При этом могут быть использованы черно-белые, спектрзональные и цветные аэропленки. Выбор типов аэропленки определяется их сенситометрическими характеристиками, особенностями ландшафта и условиями фотографирования.

В отличие от узко специального дешифрирования (лесного, геоботанического, гидрографического и пр.) дешифрирование условий селеобразования требует одновременной четкой передачи всех элементов ландшафта: рельефа, гидрографии, горных пород, почв, растительности, дорог, населенных пунктов и пр. Поэтому применение аэропленок, чувствительных в какой-либо узкой зоне спектра, целесообразно лишь в том случае, когда при выигрыше в дешифрируемости одних деталей фотопозображения местности не снижаются возможности распознавания других важных элементов ландшафта. Характеристики основных типов аэропленок, выпускаемых нашей фотопромышленностью, приведены в табл. 1.

Сопоставление спектральной чувствительности пленок со спектральной отражательной способностью основных элементов горных ландшафтов позволяет сделать некоторые общие выводы о возможностях использования указанных типов пленок для изучения природных условий селеобразования.

Наибольшее применение при изучении селеопасных районов находят панхроматические аэропленки с высокой чувствительно-

стью (тип 10). Они обладают высокой разрешающей способностью и хорошо передают детали и яркие контрасты большинства элементов ландшафта: рельефа, гидрографической сети, горных пород и объектов хозяйственной деятельности, которые необходимо учитывать при изучении сел. Однако характер растительности на летних панхроматических аэроснимках дешифрируется с трудом, так как различия в отражательной способности основных видов древесной растительности в видимой части спектра летом явно недостаточны, чтобы вызвать необходимый контраст и дать возможность дешифрировать состав насаждений по тоновым характеристикам.

Изохроматическая РФ-3 и инфрахроматическая И-760 аэропленки не находят широкого применения при изучении горных селеопасных районов. Аэропленка РФ-3 не имеет существенных преимуществ в фотопередаче горных ландшафтов по сравнению с панхроматическими, а на инфрахроматической пленке И-760 даже теряется ряд важных деталей, связанных с плохой фотопередачей обнаженных горных пород светлых тонов (известняков, песков и пр.) и наличия плотных теней.

Более перспективным

Таблица 1

Характеристики основных типов аэропленок*

Фотографические характеристики	Черно-белые			Спектральные						Цветные			
	Тип 10	Тип 15	Тип 17	Тип 18	Тип 20	РФ-3	И-760	СН-6	СН-4	СН-5	СН-23	ЦН-1	ЦН-3
Общая светочувствительность	600—1200	600—1000	450—600	100—100	450—600	600—800	250—350	200	100—150	100—150	100—150	100—200	150—250
Коэффициент контрастности	1,7—2,3	1,7—2,3	1,5—2,2	3,0—3,0	1,5—2,1	1,5—2,1	1,6—2,4		1,7—2,6	1,7—2,6	1,7—2,6	0,65—0,80	0,65—0,8
Разрешающая способность (число линий на мм)	73	85	100	250	100	65	68	60—70	73—78	60—70	60—70	35—50	40—60
Предел сенсibilизации, мм	680—690	710—720	680—690	710—720	710—720	620—630	До 820	500—800	500—590	600—770	600—700	500—600	500—700
Максимум сенсibilизации, мм	630—650	680—690	680—690	680—690	680—690	580—590	740—750	520—700	550—660	550—770	550—660	550—660	750—750

* Характеристики черно-белых пленок приводятся по данным ЛДЭМ, спектральных и цветных — по данным ЦУРГАНК.

является применение цветных и спектрзональных аэропленок, обладающих весьма высокими дешифровочными свойствами.

Отечественная промышленность выпускает спектрзональные пленки четырех типов: СН-5, СН-6, СН-23, СН-4. Первые две пленки имеют два светочувствительных слоя, сенсibilизированные к видимой (у СН-6 — к красному, у СН-5 — к зеленому) и инфракрасной частям спектра. Пленка СН-4 чувствительна к зеленому и красным лучам. Пленка СН-23 трехслойна и чувствительна к красному, зеленому и инфракрасному участкам спектра. В каждый из слоев пленки введены специальные красители, которые в процессе цветного проявления окрашивают изображаемые объекты в искусственные цвета.

Преимущество спектрзональных пленок заключается в том, что все они (кроме СН-4) обладают значительно большей возможностью в дифференциации аэрофотозображения почвенно-растительного покрова и горных пород за счет резких цветовых контрастов.

Для горных ландшафтов с чередованием обнажений и участков, занятых растительностью, целесообразно использование пленок СН-5 и СН-23.

Цветные пленки типа ЦН-1 и ЦН-3 дают возможность получать фотозображение с цветопередачей фотографируемых объектов, близкой к естественной. Они имеют три фотослоя: несенсibilизированный, ортохроматический и панхроматический, чувствительные к видимой части спектра. Применение цветной пленки целесообразно в хорошо обнаженных районах, где горные породы резко отличаются друг от друга по окраске. Однако из-за малой чувствительности и сильного влияния рассеянного освещения и атмосферной дымки фотографирование на пленки данного типа возможно с высот не более 1500—2000 м. Это ограничивает применение цветных пленок для изучения селеопасных районов.

Существенную роль при дешифрировании аэроснимков играет сезон и время аэрофотографирования. Наилучшим сезоном года для аэрофотосъемки и получения аэроснимков с максимальной степенью дешифрируемости основных индикаторов инженерно-геологических условий в селеопасных районах следует считать лето, когда в горах полностью сходит снежный покров. Время аэрофотосъемки в течение дня обуславливает характер освещенности местности и размер собственных и падающих теней. В горных районах при наличии резкого расчлененного рельефа наилучшим для аэрофотосъемки является полуденное время, когда при высоком стоянии солнца наблюдаются тени минимальных размеров, которые закрывают лишь незначительные участки склонов и почти не мешают дешифрированию инженерно-геологических объектов.

ОСОБЕННОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩЕЙ НА УСЛОВИЯ СЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основным методом использования материалов аэрофотосъемки при изучении селей является дешифрирование, проводимое с целью получения качественных и количественных характеристик природных факторов, влияющих на образование селей, их комплексной оценки для определения степени селеопасности территорий, прогнозирования селевых потоков и разработки противо-селевых мероприятий.

Разнообразные природные факторы, влияющие на формирование селевых потоков, можно подразделить на гидрологические, геоморфологические, геологические, почвенно-растительные и обусловленные деятельностью человека.

Общие информационные возможности дешифрирования отдельных природных факторов селеобразования по черно-белым панхроматическим аэроснимкам масштаба 1 : 10 000—1 : 30 000 показаны в табл. 2.

Из указанного объема информации наибольшая ее часть, относящаяся к характеристике таких внешних компонентов ландшафта, как водные объекты, рельеф, растительность, обнаженные участки почв и горных пород, непосредственно отображается на аэроснимках и может быть получена по прямым признакам — размеру и форме объектов, тону, яркостному контрасту, цвету и теням.

Другая часть информации, не менее важная, относящаяся главным образом к скрытым компонентам ландшафта, — строению толщ пород коренной основы и поверхностных отложений, подземным водам и современным геологическим процессам, на аэроснимках не видна и может быть получена с помощью косвенных признаков.

Косвенные признаки делятся на частные и комплексные. К частным относятся геоморфологические, гидрографические, геоботанические, хозяйственного освоения. Основаны они на использовании взаимосвязей между открытыми геологическими образованиями и отдельными внешними компонентами ландшафта — рельефом, растительностью и пр. Перечень основных косвенных признаков приведен в табл. 2.

Комплексные признаки отображают закономерное сочетание внешних компонентов ландшафта, которые тесно связаны с его внутренними элементами и используются для определения последних. К наиболее важным комплексным признакам относят

Общие информационные возможности дешифрирования природных факторов селеобразования по черно-белым аэроснимкам масштаба 1:10000—1:30000

№ п/п	Факторы селеобразования	Информационные возможности при дешифрировании аэроснимков
1	2	3
1	Гидрологические	Площадь водосбора селевых бассейнов, средние уклоны поверхности. Приближенные значения гидрологических параметров, входящих в формулы для расчета интенсивности стокообразования. Гидрографическая сеть (форма, разветвленность и густота). Характеристика водотоков — ширина, извилистость, уклоны русла. Озера (формы, размеры, густота расположения). Ледники и снежники (типы, конфигурация, размеры, площадь фирнового бассейна, пути и периодичность движения)
2	Геоморфологические	Геоморфологические зоны (области). Типы рельефа. Степень и характер расчленения поверхности рельефа. Формы мезо- и микрорельефа, морфологические, морфометрические их характеристики. Генезис форм рельефа. Наличие возможных затопных участков при прохождении селей
3	<p>Геологические:</p> <p>а) породы коренной основы;</p> <p>б) поверхностные отложения;</p> <p>в) структурно-тектонические;</p> <p>г) гидрогеологические объекты;</p> <p>д) современные геологические процессы</p>	<p>Важнейшие формации горных пород</p> <p>Некоторые литологические различия (известняки, мергели, глины, метаморфические породы и т. д.)</p> <p>Геолого-генетические комплексы, состав, мощность отложений (в отдельных случаях)</p> <p>Общий тектонический план территории. Элементы тектоники (складки, разломы, несогласия, системы трещин и т. д.). Элементы залегания пород. Некоторые данные для установления направления и интенсивности современных неотектонических движений</p> <p>Выходы подземных вод на поверхность (источники, высачивание вод на склонах, заболачивание)</p> <p>Типы геологических процессов, участвующие в формировании селей. Формы, границы и интенсивность их проявления</p>
4	Почвенно-растительные	Ботанические пояса. Общий физиономический облик растительности. Преобладающие виды растительности. Степень проективного покрытия древесной, кустарниковой и травянистой растительностью, некоторые типы почв
5	Антропогенные	Характер инженерно-хозяйственного освоения территорий, наличие противоселевых сооружений, объекты хозяйственной деятельности человека, влияющие на селеобразование

ся: микро- и макроструктуры, текстура и рисунок аэрофотоизображения ландшафта.

Все рассмотренные выше группы дешифровочных признаков могут иметь качественный и количественный характер. Поэтому нам кажется целесообразным подразделить их на две подгруппы: качественные и количественные дешифровочные признаки. Первые указывают лишь на наличие у объекта того или иного признака по принципу «да», «нет», а вторые выражаются числом и мерой.

При описании дешифровочных признаков в процессе дешифрирования очень важно использовать эталоны, дешифровочные таблицы, шкалы тонов, цветов, форм, размеров и рисунков объектов.

Эталоны представляют собой наглядные примеры дешифрирования элементов природных условий селеобразования, селевых очагов, русел и конусов выноса. Основу эталона составляет типичный аннотированный аэроснимок (стереопара), который сопровождается поясняющим текстом, табличным и текстовым приложениями.

Ниже рассматривается роль и значение важнейших компонентов геолого-географической среды в селеобразовании и особенности их дешифрирования по аэроснимкам.

§ 2. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Одним из необходимых условий формирования селевых потоков является наличие интенсивного поверхностного стока в руслах постоянных и временных водотоков, возникающего в результате ливней и интенсивного таяния снега или льда. Установлено, что селевые потоки образуются в водотоках с уклонами русла не менее 0,1. Скорость и энергия селевого потока в значительной степени определяются такими гидрологическими характеристиками, как площадь бассейна, его конфигурация, густота гидрографической сети, ширина, извилистость и средние уклоны русла, наличие суженных участков, создающих заторы. Таким образом, основной задачей гидрологического дешифрирования является выявление бассейнов с возможным селевым режимом стока и определение их гидрологических характеристик.

В процессе изучения бассейна той или иной реки по материалам аэрофотосъемки можно получить большую часть указанных характеристик.

Площадь водосборного бассейна влияет на величину модуля стока и расхода водотока и определяется путем непосредственного измерения по аэроснимкам.

Конфигурация бассейна, легко устанавливаемая на аэроснимках, в значительной степени определяет соотношение расходов в характерных точках главного русла (верховья, средняя часть, низовья) и скорость нарастания паводковой волны (рис. 1).

Густота гидрографической сети является важным показателем, который характеризует условия стока атмосферных осадков, осо-

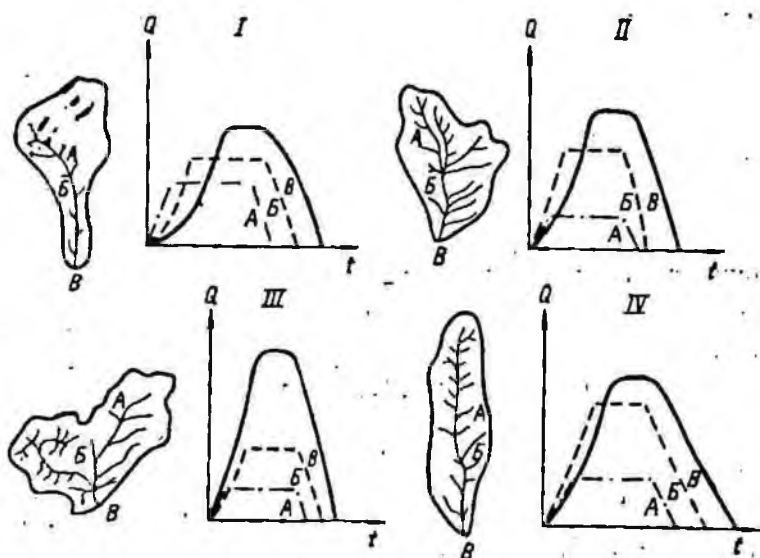


Рис. 1. Конфигурация бассейнов рек с различными соотношениями расходов Q в характерных точках A, B, B главного русла и скоростями нарастания паводковой волны t (по Ю. Г. Симонову)

I — бассейны с главным впадением русла в верхнем течении; *II* — бассейны с главным впадением русла в среднем течении; *III* — бассейны с главным впадением русла в нижнем течении; *IV* — бассейны с равномерным впадением русла

бенность режима рек данного бассейна, а также их эрозионную деятельность. Показатель густоты гидрографической сети, определяемый как отношение суммарной протяженности длины всех водотоков речной системы к площади ее бассейна, может быть получен путем измерений по аэроснимкам.

С помощью дешифрирования аэрофотосъемок могут быть установлены также отдельные параметры (приближенно), которые используются в гидрологических расчетах селевых паводков*.

В качестве примера приведена табл. 3, иллюстрирующая принципиальную возможность использования корреляционных зависимостей между этими параметрами. Следует, однако, заметить, что указанные зависимости весьма приближенны и для их уточнения требуется постановка специальных исследований.





Использование материалов аэрофотосъемки позволяет составить карту различных типов водосборных бассейнов. На основании этой карты можно дать площадную оценку условий инфильтрации атмосферных осадков и определить закономерности отдачи воды бассейнами.

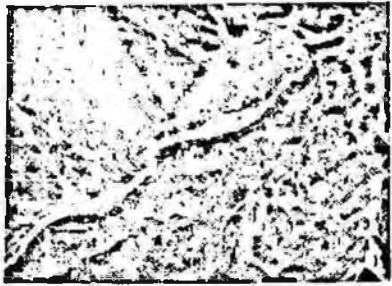

При дешифрировании водотоков необходимо акцентировать внимание на таких их особенностях, как наличие резких переги-

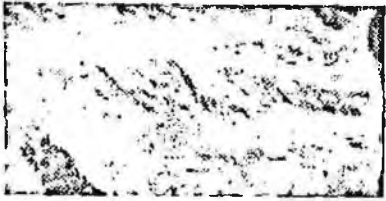

* См. Методическое руководство по инженерно-геологическому изучению селей. Изд-во «Недра», 1970.

Таблица 3

Зависимость гидрологических параметров (f_0 ; a^* ; b^*) от характера водосборных поверхностей и особенностей их аэрофотоизображения

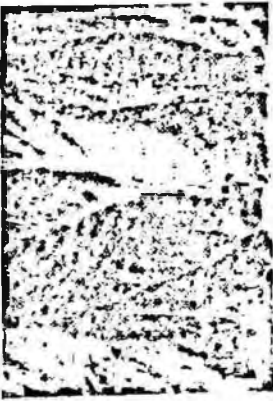
Характер водосборной поверхности	Типичное аэрофотоизображение		Дешифровочные признаки	f_0 (мм/мин)	a^*	b^*
	1	2				
Такыры и таковыидные поверхности			Тон белесый или светло-серый различных оттенков в зависимости от степени увлажнения. Структура аэрофотоизображения распылчато-пятнистая. Края такыров, как правило, четко очерчены	0,02—0,10		
Пашни и возделываемые поля			Тон серый различных оттенков в зависимости от влажности, почвенной разности и возделываемых культур. Рисунок четко-геометрический, чаще всего очертания полей прямоугольные, ограниченные четкими валиками или бороздами; часто параллельная, параллельная полосчатость, обусловленная рядовой пахотой или рядами растений	0,20—0,60	10^{-4}	20—24

Характер водосборной поверхности	Типичное аэрофотозображение	Дешифровочные признаки	f_0 (мм/мин)	a^*	b^*
1	2	3	4	5	6
Альпийские луга		Тон серый различных оттенков в зависимости от освещенности склонов и густоты растительного покрова. Растительность дает интегральное аэрофотозображение. Пятнистая структура его зависит от микрорельефа и характера подстилающих пород	0,30—1,00	10^{-4}	18—22
Луговые степи		Тон серый различных оттенков, структура расплывчато-пятнистая, иногда мелкозернистая или точечная от наличия редких экземпляров кустарников с дендритовым рисунком эрозивной сети	1,50—5,00		

Характер водосборной поверхности	Типичное аэрофотозображение	Дешифровочные признаки	f_0 (мм/мин)	a^*	b^*
1	2	3	4	5	6
Субальпийские луга		Тон от светло-серого до серого, структура аэрофотозображения неравномерно-пятнистая, зависит от микрорельефа, наличия осыпей, отдельных экземпляров кустарников и угнетенной ели	2,50—8,00	10^{-6}	4—10
Осыпи, аллювиально-делювиальные плаши и выходы коренных пород		Тон различный, от светло-серого и белесого до темно-серого в зависимости от литологии и степени выветривания пород. Структура для коренных самая различная — крупнозернистая, многоугольно-решетчатая, ромбовидная, прямоугольная и т. д. Осыпи, как правило, имеют структуру от мелкозернистой до крупнозернистой и расплывчато-пятнистой. Характерный дендритовый рисунок эрозивной сети		10^{-5}	2—12

ТЕХНИЧЕСКАЯ
ЭКСПОЗИЦИЯ
№ 29
1922

2

Характер водосбора, поверхность	Типичное аэрофотоизображение	Дешифровочные признаки	f_0 (мм/мин)	a^*	b^*
Горные леса и кустарники	<div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: center;">3</p> <p>Тон серый или темно-серый, структура зернистая, проекция крои округлая; холм песчаный. Древостой разновысотный. Кроны у елей конические, у лиственных — куполообразные, под стереоскопом просматриваются на значительную глубину. Поверхность земли просматривается в разреженных древостоях, тени у елей остроугольные, у лиственных — округло-продолговатые, плотные</p>	4	5	6
				10 ⁻⁶	2-15

бов продольного профиля, сужений и расширений, выявлении подпруженных озер. Все это легко устанавливается на аэрофотоснимках при их стереоскопическом изучении. Приближенные значения уклонов могут быть вычислены по аэрофотоснимкам путем измерений.

Характерными особенностями водотоков, указывающими на их селевой режим, являются селевые конусы выноса, широкое развитие деформаций бортов, наличие значительного вреза русла на всем протяжении водотока.

Благодаря этим особенностям селеактивные водотоки выделяются на аэрофотоснимках по очень светлому контрастному тону и характерным (фестончатым) границам прирусловой части.

Гидрологические характеристики водотоков (направление течения, скорость, глубина) определяются на аэрофотоснимках по косвенным признакам или расчетным путем способами, описанными в специальной литературе по гидрографическому дешифрированию (Кудрицкий, Попов, Романов, 1956).

§ 3. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Наличие горного рельефа является одним из необходимых условий формирования селевых потоков. Большая крутизна склонов, значительные уклоны тальвегов долин способствуют образованию размывающих скоро-

стей потоков при повышенных расходах воды и увеличивают способность их транспортировать огромную массу обломочного материала.

Наблюдавшаяся в горных условиях морфологическая поясность и накладывающаяся на нее биоклиматическая зональность в значительной степени обуславливают распределение рыхлых образований: ледниковых, гравитационных, делювиальных и пр., а также характер проявления различного рода экзогенных процессов оползней, оплывин, обвалов, термокарста и т. д., что способствует формированию очагов зарождения селей. Поэтому при изучении их необходимо провести тщательный анализ рельефа и выявить роль типов и форм рельефа в процессе селеобразования. Особое внимание следует обратить на изучение форм аккумулятивного рельефа как потенциальных источников твердой составляющей селевого потока.

Использование материалов аэрофотосъемки при таких исследованиях особенно эффективно, так как аэроснимки позволяют установить как отдельные формы рельефа, так и их сочетания, образующие отдельные типы рельефа. Материалы аэрофотосъемки одновременно охватывают большую территорию и дают возможность выявить закономерности пространственного размещения форм и элементов рельефа с такой подробностью, какая возможна только при весьма детальных наземных исследованиях. Использование специальных измерительных приборов и приспособлений при дешифрировании аэроснимков позволяет получить все важнейшие морфометрические характеристики рельефа с точностью, вполне удовлетворяющей требованиям мелко- и среднемасштабного инженерно-геологического картирования.

Дешифрирование рельефа производится на основе анализа стереомодели местности с выполнением необходимых стереоизмерений.

При стереоскопическом рассмотрении формы и элементы рельефа опознаются по их пространственной конфигурации, а при дешифрировании без стереоскопа — по плановым очертаниям, тону аэрофотозображения, теням от склонов, а также по косвенным признакам.

В процессе геоморфологического дешифрирования целесообразно сначала выделять различные типы рельефа на аэроснимках, затем детально изучать отдельные формы и элементы рельефа, после чего производить количественные измерения.

Рассмотрим особенности дешифрирования различных типов рельефа и присущих им форм на примере селеопасных районов гор Заилийского Алатау.

Высокогорно-альпийский рельеф с современным оледенением (абсолютные отметки свыше 3500 м, амплитуда относительных высот свыше 1000 м, средняя крутизна склонов 60—70°) занимает самое высокое положение в вертикальном орографическом профиле Заилийского Алатау. Он характе-



Рис. 2. Высокогорный альпийский рельеф с современным оледенением. Отчетливо опознаются горно-долинные (1) и каровые ледники (2), современные морены (3), осыпи (4) на крутых инважно-денудационных склонах

ризуется сочетанием определенных денудационных (цирки, кары и пр.) и аккумулятивных (ледники, снежники) форм, которые создают на аэроснимках пестрый неоднородный рисунок изображения с очень резкими тоновыми контрастами, образованный однородной структурой ледников и снежников очень светлого тона и линейно-дендритовидной структурой выходов коренных пород серого и темно-серого тонов, осыпей и концентрически-полосчатой неоднородной структурой современных морен светло-серого тона (рис. 2). Характер рельефа, его мезоформы, очень хорошо воспринимается стереоскопически. Однако из-за расчлененности рельефа дешифрирование микроформ затруднено на затененных участках склонов.

Линии водоразделов обычно узкие, остроугольные, скалистые выделяются на аэроснимках по очень резкой границе светлых и темных тонов, а характер изломанности этой границы указывает на форму водораздела. Отчетливо дешифрируются ледники различных типов: долинные, шлейфовые, каровые и др. На поверхности ледников хорошо заметны нунатаки и трещины, которые на аэроснимках имеют вид тонких темных линий. Современные цирки и кары дешифрируются по своим характерным формам: они обычно имеют четкую подковообразную конфигурацию. Склоны их

покрыты ледниками и снежниками. Весьма типичными являются троговые долины корытообразной формы, выполненные в верховьях ледниками и снежниками, а ниже современными гравитационными и ледниковыми образованиями с характерными аккумулятивными формами — осыпями, обвалами, камешными глетчерами, моренными валами и пр.

Отчетливо распознаются на аэроснимках по форме и морфологическому положению современные морены различного типа (боковые, срединные, фронтальные) и многочисленные осыпи (см. § 4, 6).

Распространенный тип рельефа является областью аккумуляции снежных масс и подготовки твердой составляющей селей за счет разрушения коренных пород (морозное выветривание, солифлюкция, десквамация и пр.). В нижней части к участкам развития современных морен приурочены очаги зарождения грязе-каменных и водо-каменных селей ледникового типа.

Высокогорный альпийский рельеф с реликтами древнего оледенения располагается ниже снеговой линии (абсолютные отметки 3000—3500 м, амплитуда относительных высот 700—900 м, средняя крутизна склонов 40—42°). Рельеф аналогичен вышеописанному, но характеризуется отсутствием ледников. Развита та же форма: цирки, кары, троговые долины, осыпи, морены, которые создают на аэроснимках рисунок изображения с резкими тоновыми контрастами. Он образован линейно-дендритовидной структурой выходов коренных пород и осыпей серого, темно-серого и почти черного тонов и беспорядочно-пятнистой и кружевной структурой верхнечетвертичных морен серого и темно-серого тонов, покрытых кобрезиевыми и альпийскими разнотравными лугами (рис. 3). Цирки и кары обычно небольшие, имеют простую форму, часто разрушены. Днища троговых долин выполнены верхнечетвертичными моренами. Все формы сохраняют те же дешифровочные признаки, какие характерны для альпийского рельефа с современным оледенением. Исключения составляют лишь древние верхнечетвертичные морены, которые по своему изображению резко отличаются от современных по более темному тону, беспорядочно-пятнистой структуре и холмисто-западинному рельефу.

Высокогорный альпийский тип рельефа со следами древнего оледенения является областью активного формирования ледниковых, эрозийных, лавинно-осыпных очагов, дающих начало водо-каменным и грязе-каменным селевым потокам.

Высокогорный глубокорасчлененный эрозийный рельеф (абсолютные отметки 2600—3000 м, амплитуда относительных высот 900—1000 м, средняя крутизна склонов 60—70°). По характеру изображения этот тип рельефа резко отличается от вышеописанных. Значительная вертикальная расчлененность, глубокие эрозийные долины с крутыми склонами, скалистые, узкие водоразделы и специфические денудационные и аккумуля-



Рис. 3. Высокогорный альпийский рельеф с реликтами древнего оледенения. Отчетливо выделяются полуразрушенные верхнечетвертичные кары (1), днища которых выполнены современными моренами, образованными за счет деятельности снежников

мулятивные формы создают своеобразный рисунок изображения данного типа рельефа. В свою очередь рисунок и тон изображения рельефа определяется структурными и литологическими особенностями коренных пород. Преобладают многоугольно-решетчатая, массивно-ромбовидная, параллельно-линейная структуры серого и темно-серого тонов в сочетании с дендритовидным рисунком эрозионной сети (рис. 4).

Формы, характерные для данного типа, имеют свои специфические дешифровочные признаки. Узкие эрозионные долины V-образной формы по своему изображению резко отличаются от ледниковых. Глубина врезания долины подчеркивается резкостью теней и сменой рисунков изображения при переходе от склонов к дну. Характер продольного профиля устанавливается также по резкой смене рисунков и тонов изображения.

Особое внимание при геоморфологическом дешифрировании необходимо обращать на характер склонов и приуроченность к ним определенных форм рельефа — индикаторов селеактивности.

В области развития высокогорного эрозионного рельефа развиты эрозионные выпуклые и прямые склоны. Выпуклые склоны отличаются по рисунку изображения, для них характерна скальная обнаженность, лавинные, лавинно-эрозионные лотки и пр. в верх-

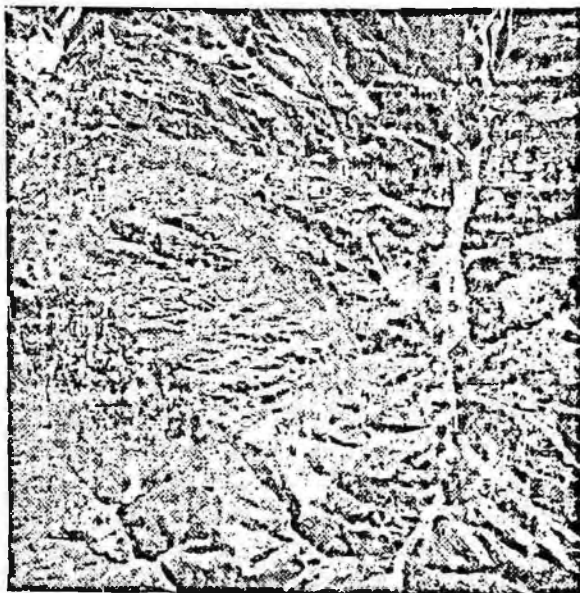


Рис. 4. Высокогорный глубокорасчлененный эрозийный рельеф, развитый на сильнотрещиноватых эффузивах. Отчетливо выделяется узкая V-образная долина с крутыми склонами, расчлененными многочисленными эрозийными ложбинами (1) и лавинно-эрозийными лотками (2). Селевое русло (3) реки с характерными береговыми обрушениями, нишами подмыва (4) и селевыми накоплениями вдоль русла в виде валов (5)

ней части и развитие форм гравитационной аккумуляции в нижней (осыпные конусы, коллювиальные шлейфы, обвалы и пр.). Рисунок изображения неоднородный, светло-серого и серого тонов. Прямые склоны характеризуются однородным линейно-полосчатым рисунком изображения и прямолинейным расположением кулуаров и возвышений (скал) между ними.

Конусы выноса временных водотоков (пролювиальные конусы и пр.) являются характерной формой эрозийного высокогорного рельефа и поставщиками твердой составляющей селевых потоков. Проловиальные конусы выноса дешифрируются по характерной треугольной форме, наличию многочисленных водотоков в виде темных и светлых линий, веерообразно расходящихся к основанию треугольников. Структура обычно зернистая, тон изображения меняется от светло-серого до темно-серого в зависимости от наличия растительности на конусе и степени его обводненности. Косвенным признаком данного типа рельефа является наличие арчевников, субальпийских и злаково-разнотравных лугов. На склонах южных экспозиций широко представлены высокогорные степи.

К высокогорному глубокорасчлененному эрозионному типу рельефа приурочены обвально-эрозионные и лавинно-осыпные очаги в гравитационных и аллювиально-пролювиальных отложениях, формирующие водо-каменные и грязе-каменные сели ливневого типа.

Область развития данного типа рельефа является также зоной транзита селей, формирующихся в более высоких зонах, и пополнения их обломочным материалом за счет размыва речных террас и поступления материала со склонов.

Среднегорный расчлененный эрозионный рельеф (абсолютные отметки 2600—1900 м, амплитуда относительных высот 500—600 м, средняя крутизна склонов 30—35°) аналогичен вышеописанному, но отличается меньшей амплитудой относительного расчленения, долины широкое, водоразделы более мягкие, сглаженные. Широко развита растительность: на северных склонах — леса из тьяньшаньской ели, на южных — высокотравные луга, кустарниковые заросли, — это область максимального выпадения осадков.

Этот рельеф дешифрируется по неоднородному рисунку изображения, образованному расплывчато-пятнистой структурой лугово-степной растительности светло-серого и серого тонов на склонах южных экспозиций и зернистой структурой еловых и смешанных лесов в сочетании с дендритовидным рисунком эрозионной сети (рис. 5). Среднегорный рельеф — это преимущественно зона транзита селей, ледникового и ливневого происхождения.

Верхняя предгорная ступень (абсолютные отметки 1900—1100 м, амплитуда относительных высот 400—500 м, средняя крутизна склонов 20—25°) представляет собой террасированные предгорья, сложенные рыхлыми валунино-галечниковыми отложениями, суглинками, перекрытыми с поверхности лёссовыми породами.

В целом это плоская поверхность, наклоненная к северу, характеризующаяся значительной степенью расчленения (глубокие, многочисленные лога — ущелья с выпуклыми склонами, значительная разветвленная эрозионная сеть). На отдельных участках размыв идет настолько интенсивно, что характер рельефа приближается к типу эрозионного. Широко развиты оползни, оплывины, значительную роль играет плоскостный смыв.

Преобладающая растительность — рощи из яблони и урюка, заросли кустарников, высокотравные степи. На высотах выше 1300 м на склонах северных экспозиций развиты леса из тьяньшаньской ели.

Этот тип рельефа дешифрируется по неоднородному рисунку изображения, образованному расплывчато-пятнистой структурой лугов и кустарников светло-серого и серого тонов и дендритовидным рисунком зернистой структуры лиственных лесов серого и темно-серого тона. Характерны полуовальные, вытянутые пятна светло-серого и серого тонов оползней и оплывин, к которым при-

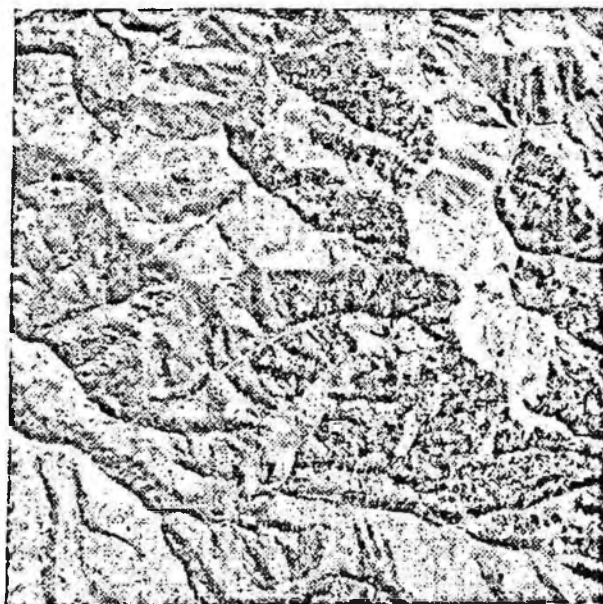


Рис. 5. Среднегорный эрозионный рельеф с мягкими водо-разделами (1) и пологими задернованными (2) и залесенными (3) склонами



Рис. 6. Ступенчатые предгорья, с поверхности сложенные лесовидными суглинками. Верхняя предгорная (А) ступень с глубокими логами и сильно развитой эрозионной сетью (1) четко отделяется от нижней пологой ступени (Б) с плоскими сложенными водоразделами (2), расчлененными впадно-балочной сетью (3). Характерно наличие многочисленных оползней (4), часто связанных с выклиниванием грунтовых вод

урочены очаги формирования грязевых селей (рис. 6). Верхняя предгорная ступень — это область транзита и частичной аккумуляции селей ледникового и ливневого типов.

Нижняя предгорная ступень (абсолютные отметки 110—600 м, амплитуда относительных высот 50—100 м, средняя крутизна склонов 10—15°) представляет собой террасовидную холмистую равнину с плоскими сглаженными водоразделами, вытянутыми меридионально и наклоненными с юга на север. Сложена преимущественно лёссовыми породами, покрыта высоко-травными типчачковыми ковыльными степями. Дешифрируется по однородному рисунку изображения, образованному неяснопятнистой структурой злаково-разнотравной растительности на водораздельных пространствах и параллельно-вытянутыми тонкими линиями темно-серого тона постоянных и временных водотоков. Также характерны полуовальные и вытянутые пятна светло-серого и серого тонов оползней (см. рис. 6). Нижняя предгорная ступень — это зона транзита и значительной аккумуляции селевых масс.

Таким образом, на основе дешифрирования материалов аэрофотосъемки возможно осуществление геоморфологического районирования территории по условиям формирования и характеру проявления селевых процессов и составление геоморфологических карт.

§ 4. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

К числу важнейших компонентов геологической обстановки, которые прямо или косвенно влияют на селеобразование, относятся: литологический состав, строение пород коренной основы и поверхностных отложений, тектонические условия и характер неотектонических движений.

Породы коренной основы

Эти породы, как правило, не принимают непосредственного участия в формировании твердого стока селей. Однако вследствие постоянного их разрушения под действием экзогенных и эндогенных процессов они служат неиссякаемым источником для формирования и накопления рыхлых отложений, которые играют важную роль в селеобразовании. Поэтому при изучении селеопасных районов необходимо выделить участки развития коренных пород, определить их вещественный состав и строение, а также оценить их значение в подготовке рыхлого материала. Использование материалов аэрофотосъемки позволяет в известной мере решить и эту задачу.

Вопросы дешифрирования коренных пород детально рассмотрены в ряде руководств и в монографиях (Петрусевиц, 1962; Высоцкий, 1962; Аэрометоды при геологической съемке и поисках полез-

ных ископаемых, 1964 и др.). Поэтому мы ограничимся лишь кратким рассмотрением возможностей дешифрирования основных типов пород в горных районах.

Дешифрирование коренных пород горных районов связано с рядом трудностей. Наличие резкой вертикальной климатической зональности проявляется в различной степени обнаженности территории, в характере распределения растительного и почвенного покрова, в особенностях строения форм мезо- и микро рельефа. Это находит свое отражение на аэроснимках и обуславливает некоторое изменение дешифровочных признаков при переходе от одной вертикальной зоны к другой. Наилучшими условиями для дешифрирования пород коренной основы характеризуется зона альпийского и эрозионного высокогорья, где имеет место хорошая обнаженность пород. Значительно хуже эти породы опознаются на аэроснимках в зоне среднегорья и низкогорья, где они перекрыты толщей рыхлых отложений.

При дешифрировании пород коренной основы важную роль играют прямые признаки — тон и яркостный контраст, поскольку породы, различающиеся по составу и структурно-текстурным особенностям, имеют неодинаковые отражательные способности. Однако ведущее значение имеют геоморфологические признаки — особенности строения мезо- и микроформ рельефа, которые подчеркивают характер геологического строения территории и вещественный состав пород. Роль гидрографической и эрозионной сети как индикатора состава и строения пород в горных районах молодой складчатости сравнительно невелика, так как эрозионная деятельность из-за интенсивных неотектонических поднятий контролируется в основном структурно-тектоническим строением территории и разностью относительных высот и, в меньшей мере, литологическим составом пород. Геоботанические и почвенные признаки большого значения не имеют в связи с тем, что распределение растительного и почвенного покрова подчинено главным образом вертикальной климатической зональности и зависит от экспозиции склонов.

В условиях сильно расчлененного рельефа дешифрирование коренных пород часто затруднено из-за наличия плотных теней на затененных участках склонов и имеющих место искажений изображений объектов за счет рельефа. В большинстве случаев на аэроснимках удается выделить различные литологические разности отложений: осадочных метаморфических и изверженных пород.

Осадочные породы отличаются большим разнообразием и могут быть объединены в две группы: несцементированные и сцементированные.

Несцементированные осадочные породы дочетвертичного возраста, развитые между более крепкими сцементированными породами, дешифрируются по изменению геоморфологических и геоботанических признаков в местах залегания пород.

Так, пески, залегающие пластами среди пород более крепких, образуют обычно пологие участки склонов, тогда как выходы крепких пород образуют крутые, нередко обрывистые части склонов. Песчаные склоны легко осыпаются. При выходе на поверхность они изображаются на аэроснимках в виде светлых полос и пятен. На поверхности сглаженных округлых водоразделов, сложенных песками, часто наблюдаются следы золотого перевесания, на них часто произрастают сосновые боры и, как правило, отсутствуют болота и следы поверхностного стока. Иной характер имеют глинистые дочетвертичные отложения. Склоны, сложенные глинами, отличаются значительной крутизной и хорошо задернованы. На расчлененных водоразделах, сложенных уплотненными глинами, часто образуется сеть крутосклонных оврагов и мелких промоин, имеющих на аэроснимках своеобразный струйчато-ребристый рисунок поверхности. На выходах глинистые свиты нередко дают темный тон изображения.

В целом для нецементированных осадочных пород характерны более сглаженный рельеф, пологие склоны, наличие оползней. Водонепроницаемые породы имеют более однородное изображение, а водонепроницаемые — пятнистый рисунок.

Различные цементированные осадочные породы по своим дешифровочным признакам, в первую очередь по характеру рельефа, заметно отличаются друг от друга. В целом для них характерен более резкий рельеф по сравнению с нецементированными породами. При этом следует иметь в виду, что на рельеф осадочных пород значительно влияет характер их залегания. При горизонтальном залегании осадочных пород создаются пластообразные формы рельефа. При наклонном залегании пластов неоднородного состава рельеф нередко имеет пилообразный зазубренный характер и дает на аэроснимке ребристое изображение. При вертикальном залегании пластов образуется рельеф в виде ряда барьерных выступов (по простиранию твердых пород). Тектонические контакты в местах несогласного залегания пластов отображаются внешним изменением рисунка изображения на аэроснимке. Хорошим дешифровочным признаком осадочных пород является полосчатый рисунок, обусловленный чередованием пластов различного литологического состава.

Конгломераты и песчаники, отличающиеся значительным разнообразием литологического состава, обладают неустойчивыми дешифровочными признаками. Мощные неслоистые конгломераты в сильно расчлененных районах часто образуют четкие формы рельефа округлых очертаний (в виде холмов и останцовых цепочек). При выходе на дневную поверхность конгломераты изображаются на крупномасштабных аэроснимках светло-серым тоном и характерным рябоватым рисунком. Устойчивые песчаники и конгломераты на поверхности водоразделов образуют холмистые гряды, а на склонах — скалистые уступы и карнизы, создаваемые более стойкими по отношению к денудации пластами. В местах

обнажения конгломератов и песчаников овраги узкие, глубокие, с очень крутыми склонами. При выходе на поверхность многие песчаники, окрашенные в довольно яркие цвета, хорошо выделяются на аэроснимках по более светлому тону изображения относительно соседних пластов. Обнажения красно-бурых и желтых песчаников хорошо дешифрируются на цветных (трехслойных) аэроснимках.

Глинистые сланцы, аргиллиты, тонкослонистые мергели обычно менее устойчивы, чем плотные конгломераты и песчаники. Поэтому в случае переслаивания с более крепкими породами они образуют более сглаженные формы и занимают обычно пониженные части рельефа, к которым часто приспособляется речная сеть. Наклонные толщи однородных глинистых сланцев нередко образуют гребенчатый характер рельефа.

В отличие от песчаников и сланцев известняки и доломиты характеризуются более массивными формами, которые в предгорных и горных районах засушливых областей имеют в большом количестве остро очерченные гребни, пики и отдельные останцовые группы. Для разнородных известняковых толщ в случае переслаивания их с другими породами характерна полосчатость изображения, часто подчеркиваемая сменой растительности. Обнаженные поверхности известняков и их элювиальные россыпи очень хорошо выделяются на аэроснимках по яркому светлому тону изображения. В северных равнинных районах такие обнажения встречаются лишь по берегам рек и склонам оврагов. В этих районах известняки и гипсоносные породы могут быть отдешифрированы на основании выявления карстовых форм рельефа.

Для метаморфических пород (кристаллических сланцев, кварцитов, мраморов, гнейсов и др.) характерен остроскальный рельеф. Метаморфические породы в условиях значительной обнаженности в ряде случаев характеризуются на аэроснимках своеобразным сетчатым рисунком, образованным линиями простирания отдельных пластов и тектоническими трещинами.

Для кристаллических сланцев характерны резкие формы рельефа и угловатый рисунок мелкой гидрографической сети, подчеркивающий приуроченность малых долин к тектоническим элементам. Кварциты и мраморы отличаются большей массивностью образуемых ими форм и выделяются на черно-белых аэроснимках более светло-серыми тонами изображения. Гнейсы по характеру изображения близки к гранитам.

Для изверженных пород характерны отсутствие сложности, массивный глыбовый характер рельефа с менее значительным расчленением поверхности, трещиноватость. Интрузивные породы (граниты, диориты и др.) дешифрируются на аэроснимках по отсутствию слоистости, однородности окраски и характерной для них сетке, образованной системой трещин. Вследствие однородности литологического состава эрозионная сеть в интрузивных породах имеет дендритобразный или пористый рисунок (рис. 7). Покровы



Рис. 7. Крутоскальные склоны, сложенные гранитами с характерным перистым рисунком эрозионной сети

различных эффузивных пород выделяются среди менее крепких осадочных пород скальным характером рельефа. Дайки и жилы обычно хорошо дешифрируются на аэроснимках по своей линейно вытянутой форме, тону, отличающемуся от тона вмещающих пород. Жилы и дайки хорошо прослеживаются на значительном протяжении в виде складчатых гряд или останцовых скальных цепочек.

Поверхностные отложения

Одним из основных факторов формирования селевых потоков является наличие рыхлых поверхностных отложений, которые вовлекаются в движение водным потоком и составляют его твердую фазу. Рыхлые образования определяют тип и характер селевого потока. От гранулометрического состава и количества рыхлого материала зависит формирование различных типов селевых потоков: водо-каменных, грязе-каменных, грязевых и пр. Устанавливается четкая приуроченность очагов селеобразования к определенным геолого-генетическим комплексам поверхностных отложений. Характер, интенсивность, продолжительность и периодичность поступления рыхлого материала в тот или иной бассейн, реку или водоток определяет в известной мере степень их селеопасности. Поэтому изучение рыхлых образований, характера их распределения на путях интенсивного поверхностного стока, их мощности и интенсивности накопления является одной из основных задач при инженерно-геологических исследованиях в селеопасных районах.

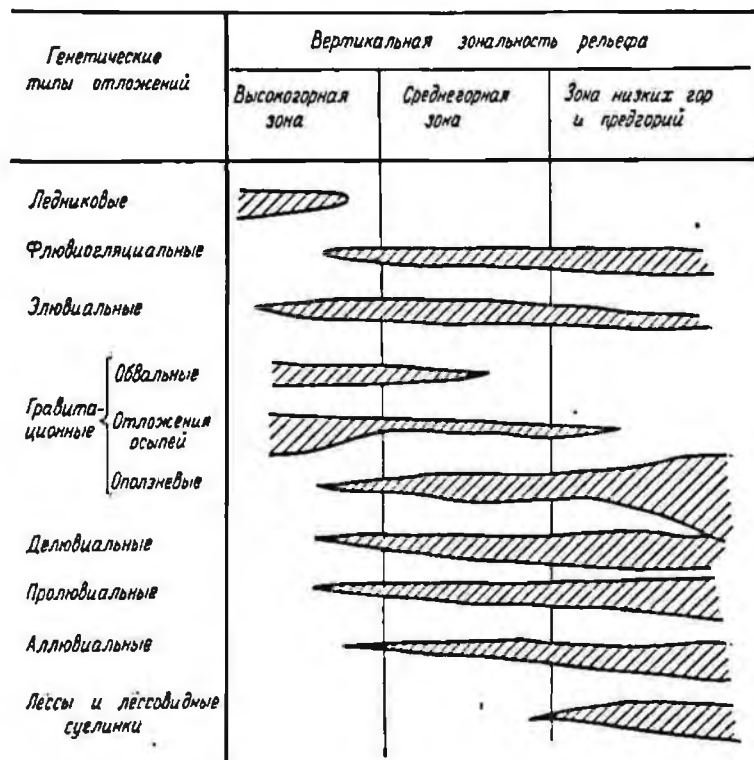
Дешифрирование аэроснимков позволяет с достаточной степенью достоверности выявить основные геолого-генетические комплексы четвертичных отложений, а учитывая их пространственное положение, взаимоотношения и условия залегания — установить возраст отложений. Так как четвертичные отложения создают

определенные аккумулятивные формы современного рельефа, в ряде случаев мощность отложений может быть приблизительно определена путем фотограмметрических измерений по аэрооформкам. Рассмотрим особенности дешифрирования основных геолого-генетических комплексов четвертичных отложений.

Формирование и особенности распространения рыхлых четвертичных отложений в горных районах тесно связаны с условиями рельефообразования. Здесь наблюдается вертикальная зональность пространственного распределения основных генетических типов четвертичных отложений. В качестве примера приведем схему

Таблица 4

Схема зонального распространения основных генетических типов четвертичных отложений в горных районах Заилийского Алатау



распространения четвертичных отложений горных районов Заилийского Алатау, которая наглядно иллюстрирует эту закономерность (см. табл. 4).

В высокогорной зоне (свыше 3 км), приуроченной к осевой части главного хребта, гляциальному и альпийскому высотным

поясам, наличие ледников, интенсивное физическое выветривание и эрозийная деятельность лавин, камнепадов и дождевых вод обуславливают преимущественное распространение морен, осыпей, обвалов и каменных россыпей.

В среднегорной зоне, расположенной несколько ниже высокогорной (1,5—3 км) и почти повсеместно совпадающей с лесостепным поясом, лесной покров оказывает замедляющее действие на ливневый сток и резко снижает плоскостный смыв и мелкую линейную эрозию, способствуя формированию элювиально-делювиального мелкозема на склонах северной экспозиции. На оголенных крутых склонах южной экспозиции развиты эрозийные процессы и происходит формирование гравитационных и пролювиальных отложений.

В зоне низких гор и предгорий (до 1,5 км), представляющей собой древнюю область аккумуляции, поднятую впоследствии молодыми тектоническими движениями, наличие мощной толщи лёссов и лёссовидных суглинков способствует интенсивному расчленению территории линейной эрозией и плоскостным смывом, а также широкому развитию оползней.

Преобладание эрозийных процессов над аккумулятивными обуславливает малую мощность четвертичных отложений на большей части территории. Лишь моренные отложения в высокогорной области и водно-ледниковые в области предгорий достигают значительной мощности (до 150—200 м).

Как известно, в процессе геологического дешифрирования используются прямые, косвенные и комплексные признаки. Известное значение здесь имеют прямые признаки — тоновые и яркостные характеристики, форма и размеры изображений объектов, поскольку молодые образования часто непосредственно обнажаются и резко отделяются от коренных пород по более светлым тонам изображения, а состав крупнообломочных отложений может быть непосредственно установлен на аэроснимках масштаба 1 : 5000—1 : 15 000 при 3—4-кратном их увеличении. Однако ведущая роль принадлежит косвенным признакам, среди которых основными являются геоморфологические: тип рельефа, степень и характер эрозийного расчленения, некоторые формы мезо- и микрорельефа. Используя геоморфологические признаки, можно определить генетические типы отложения, поскольку последние играют «качественно различную роль в строении и истории формирования осадочного покрова суши и генетически связаны с такими исторически обусловленными сочетаниями процессов выветривания, денудации и осадконакопления, которые оставляют свои особые четко распознаваемые черты в эволюции рельефа» (Шанцер, 1966).

Выделение генетических типов отложений позволяет сделать обоснованный прогноз их литологических особенностей условий залегания и выдержанности по площади и разрезу. Меньшее значение имеют гидрографические признаки, так как гидрографиче-

ская сеть находится в юной стадии развития, литологические особенности пород не успевают проявиться в характере ее рисунка.

Известную роль играют геоботанические и почвенные признаки, особенно при дешифрировании четвертичных отложений.

Комплексные признаки следует рассматривать как важный индикатор состава и строения четвертичных отложений, поскольку в микро- и макроструктуре и рисунке аэрофотоизображения проявляются все закономерные сочетания внешних компонентов ландшафта, свойственные тому или иному геолого-генетическому комплексу. Только совместное использование всей совокупности признаков обеспечивает получение достоверности информации о четвертичных отложениях.

Ледниковые отложения распространены в высокогорных областях и локализируются в современных и древних троговых долинах и цирках в виде морен различного типа. Они сложены глыбово-щебнистым материалом с супесчаным и песчаным заполнителем. В теле морен встречается погребенный лед. При наличии крутых откосов и избыточного количества талых вод в толще морены, термокарстовых пустот, каналов, галерей и погребенного льда в уступах морен часто наблюдаются крупные деформации (обвалы, оползни), которые могут вызывать катастрофические селевые потоки. Поэтому очень важно установить наличие ледниковых отложений в исследуемом районе и оценить их роль в условиях селеобразования.

Современные морены обычно примыкают к ледникам и вытянуты по дну троговых долин в форме языков различной длины (современные морены в верховьях рек Озерной в Заилийском Алатау достигают 2—3 км). На поверхности морены часто можно выделить ступени, отвечающие различным стадиям оледенения. На аэроснимках отчетливо опознаются по положению в рельефе срединные, боковые и фронтальные морены. Общий рисунок аэрофотоизображения современных морен различный — преобладает дугообразно-полосчатый, пятнистый, реже — однородный с характерной зернистой и мелкоточечной структурой преимущественно светлого тона (рис. 8). При стереоскопическом рассматривании поверхность морены неровная, бугристая, местами холмистая или грядовая с многочисленными понижениями неправильной формы и термокарстовыми озерами. Растительный покров отсутствует, и на поверхности морены, особенно на ее уступах, наблюдаются крупные глыбы валунов, которые отчетливо различаются по точечной структуре аэрофотоизображения светлого или светло-серого тона.

Современные морены часто являются активными очагами селеобразования и по своему аэрофотоизображению резко отличаются от морен, не участвующих в селеобразовании.

Для активных морен (см. рис. 44) характерен беспорядочно-пятнистый рисунок изображения, наличие многочисленных эрозионных врезов в теле морены, воронок, выделяющихся более



Рис. 8. Современная морена (glQ_{IV}) непосредственно примыкает к леднику (1), лишена растительности, с термоэрозионными руслами и ложбинами (2) и валунами на поверхности (3), четко отделяется уступом (4) от верхнечетвертичной морены (glQ_{III}), покрытой альпийскими лугами (5) и прорезанной сетью водотоков (6). К краю современной морены примыкает выровненная площадка (7), сложенная флювиогляциальными отложениями (fgQ_{IV}). Выходы источников (8) в уступе современной морены хорошо выделяются по зарождению гидрографической сети

светлым тоном по сравнению с общим тоном изображения самой морены. Наличие многочисленных термокарстовых воронок, провалов, подпруженных озер является основным индикатором селевой активности той или иной морены. Русла постоянных водотоков, примыкающих к этим моренам, имеют отчетливый эрозионный врез и обычно хорошо разработаны.

Морены, не участвующие в настоящее время в формировании селей, отличаются правильным концентрически-полосчатым рисунком изображения, отсутствием эрозионных врезов и незначительным развитием термокарстового процесса. Русла постоянных водотоков, примыкающих к подобным моренам, не разработаны и не имеют ясно выраженного эрозионного вреза.

Более древние морены (верхние и среднечетвертичные) олозняются на аэроснимках по их расположению относительно современных фронтальных морен, характерному беспорядочному холмисто-западинному рельефу, создающему беспорядочно-пятнистый

рисунком, и более темному тону изображения (от серого до темно-серого) по сравнению с современными моренами, так как древние морены обычно покрыты альпийскими лугами (см. рис. 8).

Верхнечетвертичные морены обычно являются поставщиками твердой составляющей при прохождении селей ледяникового типа. Но при определенных гидрометеорологических условиях (значительное выпадение осадков в нижней части альпийского высокогорья) они могут стать активными селеобразующими очагами.

Флювиогляциальные отложения состоят из валунно-галечникового материала с большим количеством мелкозема. Развитые вдоль крупных водотоков они представляют собой мощный резерв пополнения селевых потоков рыхлообломочным материалом. Дешифрирование флювиогляциальных отложений обычно не вызывает затруднений.

Выровненные площадки у края морен или специфические террасы, сложенные этими отложениями, легко различаются при стереоокопическом рассмотрении аэроснимков (см. рис. 7). Поверхность современных флювиогляциальных отложений часто прорезана сетью мелких водотоков, которые на аэроснимках образуют характерный струйчатый рисунок светлого тона. Уступы флювиогляциальных террас осложнены нишами срыва и мелкими оползевыми смещениями. Более древние отложения покрыты альпийскими лугами, что придает им ровный однородный серый тон фотоизображения.

Гравитационные отложения являются весьма неустойчивыми подвижными образованиями. Крутые обвалы и обрушения пород коренной основы могут перегораживать русла и образовывать временные водоемы, прорывы которых вызывают селевые потоки. За счет этих отложений идет формирование многочисленных обвалных и оползневых накоплений, являющихся резервом питания селевых потоков рыхлообломочным материалом.

В распространении гравитационных отложений наблюдается определенная закономерность; в высокогорье широко распространены осыпи и обвалы, в среднегорье эти отложения наблюдаются реже на склонах южной экспозиции, а в предгорьях, сложенных рыхлыми образованиями, широко развиты оползневые накопления. Особенности дешифрирования обвалов, осыпей и оползней подробно рассмотрены в § 6 настоящей главы.

Аллювиальные, аллювиально-пролювиальные отложения, протягивающиеся полосами вдоль русел постоянных и временных водотоков, играют весьма важную роль в селеобразовании и питании селевого потока твердой составляющей. Эти образования обычно представлены валунно-галечниковыми, галечниками и гравийно-галечниковыми отложениями с песчано-глинистым и песчаным заполнителем. При дешифрировании этих отложений необходимо учитывать особенности развития долин горных рек и формирования аллювия.

Значительные поступления обломочного материала в русло ре-

ки в результате интенсивной денудации склонов (по сравнению с собственной эрозивной деятельностью реки) определяют особенности формирования литологических типов аллювия. На протяжении крупных транзитных рек с ледниковым питанием, к которым относится большинство горных рек от их истоков до устья можно выделить несколько подтипов горного аллювия, подразделяемых по условиям образования.

Наиболее отчетливо дешифрируются современные аллювиальные, аллювиально-пролювиальные отложения, слагающие пойму и первую надпойменную террасу. Они изображаются на аэроснимках (рис. 9) в виде узких вытянутых извилистых полос светлого



Рис. 9. Современные аллювиально-пролювиальные (селевые) отложения ($арQ_{1v}$), слагающие пойму (1), и верхнечетвертичные аллювиально-пролювиальные отложения ($арQ_{III}$) высокой надпойменной террасы (2), перекрытые пролювиальными отложениями ($рQ_{III-IV}$), слагающими конузу выноса (3)

и светло-серого тонов, приуроченных к руслам рек. Ширина пойменных участков зависит от возраста и особенностей развития речной долины, гидрологического режима реки и пр. Растительность на этих отложениях, как правило, отсутствует. Общая структура аэрофотоизображения зернистая, тонкоструйчатая.

Более древние отложения слагают обычно высокие надпойменные террасы (см. рис. 9) и хорошо выделяются в нижних частях долин крупных рек. Поверхность этих террас покрыта зарослями кустарников и рощами лиственных пород или занята под сады и огороды.

Характерной особенностью долин горных рек является наличие отложений селевых потоков, часто перекрывающих другие типы отложений речных долин. Селевые отложения создают характерные выносы, очень сходные с пролювиальными. Отложения мощных селевых потоков часто заполняют долины рек, полностью меняя их облик. Они резко выделяются по светлому, светло-серому тону изображения, характерному тонкоструйчатому (часто со следами ряби) рисунку (см. рис. 4). Обычно они прорезаны темными

и светлыми линиями постоянных и временных водотоков. В нижних частях склонов долин наблюдаются различные деформации (ниши срыва, оползни, обрушения и пр.), опознаваемые по характерным формам и светлому тону изображения; на крупных селе-носных реках — селезащитные сооружения.

При стереоскопическом рассматривании аэроснимков иногда удается выделить так называемые селевые террасы, отражающие различные этапы аккумуляции селевого потока.

Пролювиальные отложения слагают конусы выноса временных водотоков, выполняют днища небольших сухих или очень маловодных долин и логов. Состав отложений весьма разнообразный и зависит от характера других генетических типов пород, за счет которых шло формирование пролювия.

В высокогорье пролювий обычно представлен щебнисто-глибовым материалом с песчано-суглинистым заполнителем. В низкогорных частях бассейнов материал более мелкий, местами представлен даже суглинками с включением щебня, дресвы и песка. Дешифрируются пролювиальные отложения по характерным конусам выноса. Форма конусов треугольная, поверхность в центре обычно выпуклая и прорезана сетью эрозионных рытвин, расходящихся веером к основанию конуса. Для современных пролювиальных конусов характерно отсутствие растительности, светлый тон эрозионных рытвин, поверхность конуса слабо расчлененная. По изменению тона отчетливо выделяются следы нарастания конуса — светло-серые в периферических частях, очень светлые в центральной части конуса. Характерным дешифровочным признаком современных пролювиальных конусов является отсутствие тальвега.

Для древних пролювиальных конусов характерен более темный тон аэрофотоизображения, отсутствие следов нарастания, нечеткие контуры и наличие постоянного тальвега. Поверхность конуса покрыта растительностью, наблюдается густая сеть эрозионных рытвин со значительной глубиной вреза, которые отчетливо изображаются на аэроснимках в виде темных линий.

Лёссы и лёссовидные суглинки широко распространены в предгорьях, где они покрывают площад различные породы. Близость состава лёссов и лёссовидных суглинков препятствует их разделению при дешифрировании. Поэтому они на аэроснимках не разделяются. Основными признаками для их опознавания по материалам аэрофотосъемки является характер рельефа и особенности строения эрозионной сети (см. рис. 6). Лёссовые породы приурочены к низко горному рельефу с мягкими сглаженными формами. Для верхних частей предгорий характерны вытянутые плоско-увалистые водоразделы, расчлененные эрозионными долинами рек и глубокими длинными логами, борта которых часто поражены оползневыми смещениями. В нижних частях — плоско-холмистые поверхности, разделенные относительно неглубокими и короткими крутосклонными логами и оврагами коньнеподобного типа (см. рис. 6). В целом для лёссовых пород

характерна расплывчато-пятнистая структура аэрофотонизображения серого и темно-серого тона с дендритовидным рисунком эрозионной сети.

К области распространения лёссов и лёссовидных суглинков приурочены обвально-оползневые и оползневые очаги, дающие при интенсивных ливнях грязевые селевые потоки.

Тектоника и неотектоника

Из анализа регионального распространения селей отчетливо выявляется приуроченность их к подвижным участкам земной коры, отличающимся наибольшей тектонической активностью.

Влияние тектонических условий района на формирование селевых потоков проявляется в нарушении устойчивости пород в результате тектонической трещиноватости в зоне разрывных нарушений и сейсмической деятельности. Кроме того, интенсивные тектонические движения положительного типа являются главным фактором, вызывающим формирование резко расчлененного горного рельефа. Продолжающаяся активность земной коры, осязаемое проявление которой выражается в масштабе геологического времени, обуславливает создание геолого-геоморфологической, а косвенно и климатической обстановки и влияет на ход и интенсивность развития различных современных физико-геологических процессов, в том числе и селей.

В горных районах очень четко устанавливается приуроченность некоторых селеопасных очагов к зонам крупных тектонических нарушений (обвально-эрозионные очаги Кокчека, Ажджар, эрозионно-оползневой на р. Кумбель в горах Заилийского Алатау).

Такая связь обусловлена: 1) резко аномальными изменениями свойств горных пород (интенсивная трещиноватость, дробление); 2) современной сейсмической активностью крупных разрывных нарушений.

Время формирования и период активности разрывных нарушений оказывают существенное влияние на образование селевых очагов. Последние преимущественно связаны с современными действующими разломами. Поэтому при изучении селеопасных районов необходимо обращать внимание на характер и распределение разрывных нарушений, их активность и приуроченность к ним селевых очагов.

Полная характеристика разрывных нарушений включает: пространственную ориентировку нарушений относительно складчатой структуры: морфологию; размеры (протяженность, амплитуду смещения); кинематику; время формирования и период активности; механизм формирования.

Весьма эффективно применение материалов аэрофотосъемки при изучении разрывных нарушений. С помощью дешифрирования аэроснимков можно установить не только местоположение разрывных нарушений, но и ориентировочно порядок разрывных нару-

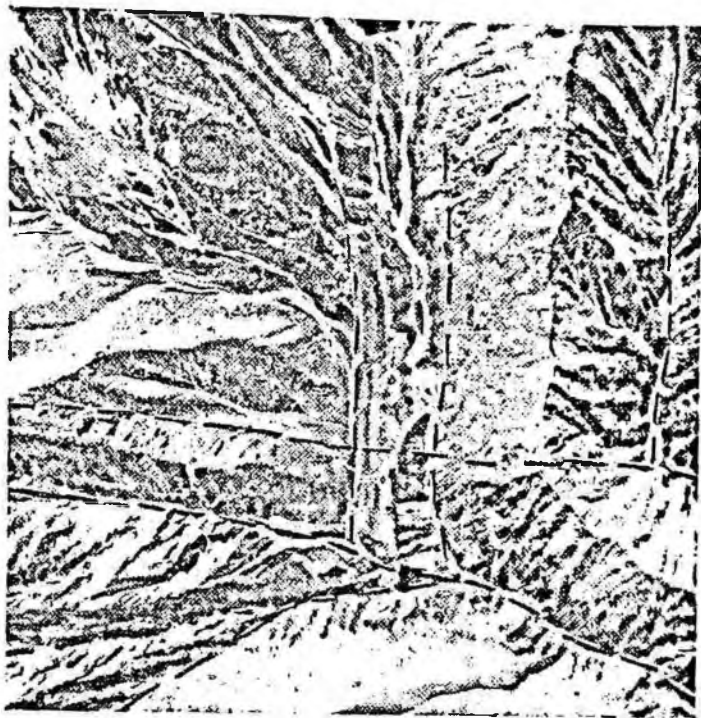


Рис. 10. Тектонические нарушения четко контролируются характером речной и эрозийной сети

шений по их протяженности и стратиграфическому положению контактирующих пород, реже их кинематику. Разрывные нарушения на аэроснимках выявляются обычно непосредственно по прямым признакам (тонкие, четкие линии) или с помощью косвенных признаков: геоморфологических, геоботанических, гидрологических и пр. Геоморфологически они выражаются в виде уступов, аномальных резких перегибов склонов, вплоть до образования обратных склонов по отношению к общему падению последних.

Разрывные нарушения определяются по приуроченности к ним определенных видов растительных ассоциаций и линейным ареалом их распространения.

Речная сеть часто контролируется разрывными нарушениями, что выражается в резких перегибах русла (рис. 10), в наличии закономерно ориентированных участков, впадением притоков под прямым или даже тупым углом к направлению уклона главного русла, аномальных рисунках речной сети и пр. На аэроснимке (см. рис. 10) показана система оперяющихся разломов, которые отчетливо выявляются по характеру речной сети. При интенсивных ливнях здесь образуются водо-каменные сели. Рыхлый материал поступает из подвижных осей при разрушении сильно катаклазированных пород коренной основы.

Влияние новейших тектонических движений сказывается непосредственно на характере геолого-геоморфологической и климатической обстановки, что вызывает усиление физико-геологических процессов, зональное их распределение в условиях контрастного горного рельефа, а следовательно, и зональное распределение очагов селеобразования.

Применяемая методика изучения неотектонических движений включает в себя как группу количественных инструментальных методов, так и группу качественных историко-геолого-геоморфологических методов.

В первом приближении выявление дифференцированности неотектонических движений производится с помощью дешифрирования аэроснимков и основывается на тех же принципиальных и методических положениях, которые применяются и при обычном наземном изучении новейших движений при использовании геологических, геоморфологических и географических методов.

С другой стороны, важную роль в процессе селеобразования играют сейсмические движения — особый вид неотектонических движений, происходящих в земной коре по тектоническим разрывам.

Землетрясения часто сопровождаются более или менее значительными деформациями горных склонов (оползни, обвалы, разрывы и пр.). Нередко отчетливо дешифрируется образовавшаяся при этом полоса деформаций (оползни, обвалы и пр.). Она обычно бывает приурочена к зонам тектонического разлома (сброса).

Так, в средней полосе предгорий Заилийского Алатау получили развитие оползни сейсмического происхождения, приуроченные к зоне тектонического уступа, отделяющего верхнюю предгорную ступень от нижней. При интенсивных ливнях с оползнями такого происхождения связано формирование грязевых селевых потоков.

Обвалы, связанные с сейсмическими явлениями, встречаются реже оползней, но с ними нередко бывает связано формирование катастрофических селевых потоков, особенно если такие смещения приурочены к речным долинам.

§ 5. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Подземные воды играют весьма важную роль в селеобразовании. Они принимают активное участие в формировании поверхностного стока и пополнении жидкой фазы селевых потоков. Наличие подземных вод снижает устойчивость склонов и способствует обрушению, оползанию и оплыванию значительных масс пород, участвующих в формировании селей. Нередки случаи, когда под действием гидродинамического давления выклинивающегося потока подземных вод непосредственно возникают селевые явления.

Поэтому очень важно изучить гидрогеологические условия и оценить их роль в селеобразовании. При этом необходимо располагать данными о наличии грунтовых вод, а иногда и более глубо-

ких водоносных горизонтов, мощности и составе водовмещающих пород, динамике подземных вод, водообильности горизонтов и химическом составе подземных вод. Изучение гидрогеологических условий по материалам аэрофотосъемки связано со значительными трудностями, поскольку подземные воды, как это отмечалось выше, не получают непосредственного отображения на аэроснимках. Однако определенная часть информации о различных аспектах гидрогеологической обстановки может быть получена путем анализа внешних элементов географической среды, тесно связанных с подземными водами.

Подземные воды в горных районах пользуются широким распространением и приурочены как к толщам коренных пород, так и перекрывающим их рыхлым отложениям. Грунтовые воды часто выходят на поверхность в виде источников, мочажин и т. п.

Питание горизонта грунтовых вод идет преимущественно за счет таяния ледников и атмосферных осадков. Роль трещинных вод и вод тектонических разломов в этом случае невелика.

Морфологическая поясность и биоклиматическая зональность обуславливают закономерную неоднородность гидрогеологических условий. В высокогорной зоне гидрогеологические условия определяются широко развитыми здесь ледниками, погребенными льдами и многолетнемерзлыми породами.

Одним из характерных индикаторов путей движения внутриледниковых вод служат системы трещин, нередко секущие своды ледниковых галерей. На аэроснимках такие трещины на теле ледника четко выделяются в виде узких темных полос. На поверхности морен хорошо дешифрируются термоэрозийные русла и ложбины, нередко оканчивающиеся термокарстовой воронкой или открывающиеся в термокарстовые озера. Эти микроформы рельефа могут служить индикатором выхода грунтовых вод на поверхность и участков, где поток снова уходит в толщу рыхлых отложений.

Основная разгрузка грунтовых вод ледниковых отложений происходит в уступах морен. Участки выходов источников могут рассматриваться как возможный очаг первичного зарождения селевого процесса. Этим диктуется необходимость особенно тщательного дешифрирования таких источников. Индикаторами их служат более темный тон увлажненных пород в местах выхода грунтовых вод, зарождение эрозийной сети, а в случае достаточного крупнодебитного источника или серии их — наличие водотоков (см. рис. 8).

Анализ эрозийной сети может дать представление о местах выхода грунтовых вод на дневную поверхность, о путях фильтрации их, так как сеть эрозийных ложбин нередко служит и коллектором грунтовых вод и путем стока их. Большие уклоны рельефа и ступенчатый характер склонов являются причиной частого выклинивания грунтовых вод в виде разноедебитных источников. Наиболее крупные выходы наблюдаются в нижних частях скло-

нов. На участках развития осыпей грунтовые воды, приуроченные к комплексу гравитационных, делювиальных и гравитационно-пролювиальных образований, способствуют уменьшению устойчивости осыпного материала, скапливающегося у подножий склонов.

В предгорных наклонных равнинах, сложенных грубообломочным аллювиально-пролювиальным материалом, создаются благоприятные условия для формирования мощных потоков грунтовых вод. Нередко они выходят на поверхность в виде источников со значительными дебитами. Иногда подземные воды начинают высачиваться на определенном уровне по всему склону, образуя сеть мелких ручьев. На аэроснимках места выхода подземных вод отчетливо выделяются в виде темных, почти черных пятен различной формы и размера.

Косвенными дешифровочными признаками, свидетельствующими о разгрузке или подпоре грунтовых вод, служат такие явления, как оползни, оплывины, в формировании которых немалую роль играют подземные воды. Особенно четкая связь между объектом-индикатором и изучаемым объектом в рассматриваемом случае наблюдается на участках развития лёссовых пород (см. рис. 6).

В ряде случаев в качестве индикатора выхода подземных вод на дневную поверхность может служить растительность. Наиболее хорошо дешифрируются на аэроснимках растительность в местах выходов источников в альпийском и особенно степном поясах благодаря резкому контрасту ее по фототону с фоновой. Так, в альпийском поясе болотная растительность, приуроченная к выходам грунтовых вод, дает более темный фототон по сравнению с растительностью альпийских лугов. В степном поясе и на остепненных склонах лесного пояса сообщества мезофильных и гидрофильных злаков (тростника, вейника), рогоза, осоки и разнотравья также четко выделяются своим темным фототоном на светло-сером фоне более ксерофильной степной растительности. Зачастую эти участки имеют линейно-вытянутую форму.

Немаловажную роль при изучении гидрогеологических условий играют поверхностные воды. Располагая данными о поверхностных водах, можно составить представление об общей водоносности района, о питании и разгрузке водоносных горизонтов, глубине залегания зеркала их и направлении движения подземных вод.

Определенное значение в формировании селей имеют также воды открытой трещиноватости в коренных породах — трещинные, пластово-трещинные воды, а также воды тектонических разломов — локально-трещинные. Возможности изучения подземных вод пород коренной основы по материалам аэрофотосъемки довольно ограничены. В процессе дешифрирования удается лишь выделить толщи горных пород, которые могут играть роль коллекторов подземных вод. Так, например, интрузивные породы часто разбиты густой сетью трещин различного направления и ширины, которые создают благоприятные условия для накопления подземных вод

открытой трещиноватости. В нижних частях склонов и тальвегах логов воды выходят на поверхность в виде мочажин или родников, которые на аэроснимках выделяются по темному тону окружающей их растительности. Благоприятные условия для аккумуляции подземных вод в трещинах имеют массивы известняков и эффузивных пород. О степени водообильности можно судить лишь косвенно по степени трещиноватости пород. Для них характерен сетчатый рисунок аэрофотоизображения, обусловленный наличием различных систем трещин, которые в некоторых случаях просвечивают даже сквозь мало мощные четвертичные образования.

Пластово-трещинные подземные воды связаны с определенными геологическими структурами и имеют напорный характер. Выходы этих вод обычно приурочены к моноклинальным складкам или их крыльям, имеющим значительное протяжение.

В качестве примера на рис. 11 показан выход пластово-трещинных вод из толщи песчаников. Песчаники имеют светлый тон аэрофотоизображения, и пластовая отдельность их хорошо заметна по пластовым треугольникам, обусловленным различной степенью сопротивляемости эрозии пластов. Пластовые воды выклиниваются в виде мочажин и, стекая по склону, образуют ручьи. На аэроснимке места выхода подземных вод подчеркиваются темными пятнами осоковой растительности.

Подземные воды тектонических разломов относятся к водам локальной трещиноватости. При дешифрировании аэроснимков с большой степенью достоверности эти воды могут быть определены по цепочке источников, расположенных строго по линии тектонического разлома.

В заключение отметим, что возможности дешифрирования подземных вод в горно-складчатых районах все же весьма ограничены. Однако эффективность дешифрирования может быть значительно повышена за счет использования метода аналогий, когда учитываются гидрогеологические данные однотипных отложений в других районах, близких к изучаемому по структурно-тектоническим и климатическим условиям.



Рис. 11. Выходы пластово-трещинных вод из толщи песчаников (1) отчетливо выделяются по наличию темных пятен мочажин (2), вытянутых цепочкой по склону и подчеркнутых осоковой растительностью

§ 6. СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Современные геологические процессы играют важную роль в селеобразовании. Они участвуют в формировании рыхлообломочного материала на склонах, способствуют его перемещению в тальвеговые части водотоков и тем самым непосредственно влияют на характер селевого процесса. Нередко внезапное проявление того или иного геологического процесса (оползни, обвал и пр.) является причиной возникновения селевых потоков. Поэтому при изучении селеопасных бассейнов очень важно установить основные типы современных геологических процессов, выявить закономерности их распространения и современную динамику, а также оценить их роль в селеобразовании.

Эта задача в известной мере может быть решена с помощью дешифрирования материалов аэрофотосъемки, так как большинство современных геологических процессов связано с образованием весьма характерных мезо- и микроформ рельефа, которые достаточно полно могут быть изучены на аэроснимках. Повторная аэрофотосъемка дает возможность изучать динамику современных геологических процессов и фиксировать с высокой степенью детальности, точности и достоверности все изменения, которые произошли за период времени между двумя съемками.

Рассмотрим особенности дешифрирования важнейших современных геологических процессов, участвующих в селеобразовании.

Ледники и снежники

Ледники играют основную роль в формировании селей ледникового типа. С одной стороны, ледники производят большую работу по разрушению, транспортировке и переотложению горных пород, образуя толщи морен, которые нередко являются очагами водно-каменных и грязе-каменных селей катастрофического характера.

С другой стороны, ледники, аккумулируя огромное количество снега и льда, являются источниками питания горных рек и в значительной мере определяют их гидрологический режим.

Деградация оледенения, наблюдающаяся во всех горных районах СССР, приводит к увеличению запасов рыхлообломочного материала. Сочетание высокого увлажнения территории тальми ледниковыми водами с избытком рыхлого материала создают благоприятные предпосылки для возникновения селей ледникового типа.

Н. Н. Пальгов и В. А. Зенкова выделяют следующие типы ледников: каровые, висячие, карово-висячие, долинные, висячих долин, шлейфовые, плоских вершин, котловинные.

Наиболее значительными по площади являются долинные ледники альпийского типа. С ними связано формирование селей ледникового типа, так как они образуют мощные конечно-моренные валы.



Рис. 12. Ледник долинного типа (I) с отчетливо выраженной областью питания (1) и областью абляции (2) и прилегающими к нему боковой (3) и фронтальной (4) моренами. Шлейфовый ледник (II) с его фронтальной мореной (5). На поверхности ледника хорошо заметны многочисленные трещины (6) и ложбины (7)

Все типы ледников отчетливо дешифрируются на аэроснимках по очень светлому тону изображения, характерной форме и морфологическому положению. Ледники обычно ограничены моренами (боковыми, срединными, фронтальными). На поверхности ледников отчетливо дешифрируются многочисленные трещины и кувнатаки в виде тонких темных линий пятен. С высокой точностью можно измерить по аэроснимкам основные морфологические характеристики ледников: длину, ширину, площадь.

Долинные ледники дешифрируются по вытянутой языкообразной форме и приуроченности к верхним частям троговых долин. Отчетливо различаются области питания, располагающиеся в крупном цирке, и область абляции (рис. 12). Конец ледника ограничен мощными моренами, на поверхности которых отчетливо дешифрируются подпрудные и термокарстовые озера, воронки и пр.

Шлейфовые ледники дешифрируются по приуроченности к крутым склонам, которые они покрывают полностью до водораздельной линии. Верхняя граница ледника обычно имеет изрезанную фестончатую форму (см. рис. 12).

Каровые ледники дешифрируются по приуроченности к дни-



Рис. 13. Карвовый ледник (1)



Рис. 14. Висячий ледник (1) и карово-висячий (2)

щам цирков и каров. Обычно они имеют в плане округлую форму и небольшие размеры (рис. 13).

Висячие ледники встречаются на стенках каров и склонах гор в виде коротких языков. Ледники этого типа являются обычно спутниками крупных каровых или долинных ледников (рис. 14).

Ледники висячих долин дешифрируются по их приуроченности к боковым висячим долинам. Язык ледника может достигать и не достигать устья долины. Характерным дешифровочным признаком описываемых ледников является приуроченность к ним мощных моренных отложений, обрывающихся крутым уступом к главной долине (рис. 15).



Рис. 15. Ледник висячей долины (1)

Ледники плоских вершин приурочены к древним поверхностям выравнивания.

Наряду с ледниками в горных районах большое распространение имеют снежники, к которым относятся «любые скопления снега, сохраняющиеся в течение части или всего теплого времени года, после того как нормальный снежный покров исчезает» (Тушинский, 1957). Снежники значительно расширяют сферу воздействия ледниковых процессов, создавая по периферии настоящих ледников рельеф и отложения, очень сходные с ледниковыми. В то же время снежники, конденсируя значительное количество влаги, влияют на гидрологический режим горных рек. Густота распространения снежников тесно связана с распространением лавин и с возможностью образования снежниковых селей.



Рис. 16. Навейные снежники

Снежники имеют разные размеры и форму — от полей до отдельных пятен. По классификации Г. К. Тушинского (1957) выделяются снежники навейные и лавинные.

Навейные снежники делятся на снежники морен, формирующиеся в углублениях моренного рельефа, и карнизные снежники, образующиеся вдоль гребней хребтов.

Карнизные снежники в свою очередь делятся на постоянные и временные. Последние могут быть отдешифрированы на аэроснимках, если съемка проводилась в весеннее время. Постоянные карнизы обычно располагаются один над другим и на аэроснимках имеют формы в зависимости от морфологических особенностей гребней.

Лавинные снежники разделяются на лотковые и структурные склоны. Лотковые снежники приурочены к лавинным лоткам, по которым зимой сходят снежные лавины. Снежники обычно располагаются в нижней части лотка и в летнее время при интенсивном таянии могут создавать снежниковые сели. Снежники структурных склонов располагаются на выровненных поверхностях крутых склонов, обычно террасированных. Наличие нескольких параллельных снежников на крутом склоне указывает на ступенчатый профиль склона (развита система так называемых горизонтальных полок). На аэроснимках снежники имеют очень светлый тон фотоизображения с точечной структурой выходов коренных пород более темного тона (рис. 16).

Лавины

Снежные лавины широко распространены в горных районах и приурочены к зонам высокогорья и среднегорья. Нередко снежные лавины принимают непосредственное участие в селеобразовании. Являясь одним из активных факторов формирования рельефа, они производят большую механическую работу, которая проявляется в захвате и переносе низвергающимися снежными массами рыхлообломочного материала разрушенных горных пород, выпахивании и образовании характерных лавинных лотков на склонах и формировании в их основании ям выбивания и конусов выноса.

Во время движения снежные лавины уничтожают на своем пути деревья, срывая и снося горизонты почв.

При спусках лавин в узкие долины в руслах рек и временных водотоках создаются завалы и заторы, прорывы которых могут привести к образованию селевых потоков. Обломочный материал, вытравившийся из лавинного снега и скапливающийся из года в год в основании склонов вовлекается в селевой поток, пополняя твердую составляющую селя. Поэтому при инженерно-геологических исследованиях в горных районах очень важно выявить лавиноопасные участки и оценить их роль в процессе образования селей. Эта задача может быть решена путем дешифрирования аэроснимков.

В СССР принята морфологическая классификация лавин, основанная на геоморфологических особенностях лавиносбросов и учета характера движения лавин (Тушинский, 1963). Согласно этой классификации лавины делятся на три типа: лотковые, прыгающие и осовы. Наиболее четко опознаются по аэроснимкам участки развития лотковых и прыгающих лавин, которые, как правило, имеют хорошо выраженные лавиносбросы и оставляют заметные следы при своем спуске. Значительно труднее дешифрируются снежные осовы.

Дешифрирование лавиноопасных участков опирается в основном на геоморфологические и геоботанические признаки. В первую очередь следует обращать внимание на морфологические особенности рельефа, связанные с деятельностью снежных лавин — лавиносборы, лотки и конусы выноса.

К лавиносборам при дешифрировании следует относить вогнутые формы рельефа, расположенные в верхней части склона: деформированные кары, денудационные воронки, эрозионные врезы, а также крутые нерасчлененные участки склонов, которые отчетливо различаются при стереоскопическом рассматривании аэроснимков.

Наиболее крупные по объему лавины, спускающиеся из современных или древних каров, имеют большую снегосборную площадь, приуроченную к циркообразным понижениям с более или менее плоским дном, иногда перегороженным валом (ригелем) из

скопившихся обломков. Стенки кара, выработанные в кристаллических породах, имеют большое количество мелких эрозионных ложбин перистой конфигурации, которые на аэроснимках из-за наличия светотеней имеют темно-серый почти черный тон изображения (рис. 17).

Лавины из денудационных воронок имеют небольшой объем накопленных снежных масс, но чаще спускаются со склонов. Для таких лавиносборных участков характерны воронкообразные углубления, широкие сверху и сужающиеся внизу, с ровными склонами. На поверхности воронок наблюдаются выходы коренных скальных пород и накопления глыбисто-щербнистого материала. В устьевой части воронки имеется сеть мелких борозд, которые, сливаясь, образуют прямолинейную рытвину (рис. 18).

Лавины из эрозионных врезов спускаются очень часто и наблюдаются почти после каждого снегопада. Они приурочены к прямолинейным эрозионным бороздам без четко выраженного лавиносбора (рис. 19).

Лотки, которые служат путем сноса лавинных масс снега и захватываемого им обломочного материала, приурочены к крутым участкам склона и имеют корытообразную форму. На плановых аэроснимках они выделяются по прямолинейным светлым полосам, которые особенно отчетливы на заселенных участках склонов, где пути схода лавин обозначаются лесными прочесами (рис. 20). Там, где на пути движения лавин встречаются препятствия в виде скал и скальных выступов, лотки меняют свое направление под ясно выраженным углом поворота.

В основании склонов снежные лавины образуют небольшие конусы выноса, которые на аэроснимках дешифрируются по треугольной форме, светлому и светло-серому тону изображения. В отличие от осыпных конусов выноса наиболее крупный материал накапливается на лавинном конусе в его верхней части, которая обычно бывает незадернована и на аэроснимках имеет более светлый тон изображения по сравнению с остальной частью конуса.

Важным признаком лавинной опасности могут служить остатки



Рис. 17. Лавиносборы из каров приурочены к циркообразным понижениям с плоским дном (1), заполненным обломочными породами. Стенки кара сложены кристаллическими породами с многочисленными эрозионными бороздами (2). Лотки (3) корытообразной формы



Рис. 18. Лавиносборы из денудационных воронок, широких сверху и сужающихся снизу с ровными склонами. На поверхности воронки сеть мелких борозд (1), которые, сливаясь, образуют прямолинейную рытвину (2)



Рис. 19. Лавины из эрозионных врезов приурочены к прямолинейным эрозионным бороздам (1) без четко выраженного лавиносбора. В основании склонов снежные лавины образуют небольшие конусы выноса (2) треугольной формы

лавинных снежников, сохранившихся в днищах долин к моменту аэрофотографирования, обычно проводимого летом. Они свидетельствуют о спуске крупных лавин в прошедшую зиму и выделяются на аэроснимках по очень светлым небольшим пятнам неправильно вытянутой формы, расположенным на конусе выноса в лавинном лотке. При оценке лавиноопасных участков с точки зрения образования селей следует обращать внимание не только на характер лавин, но и на форму долины, в которую спускаются лавины. Наиболее

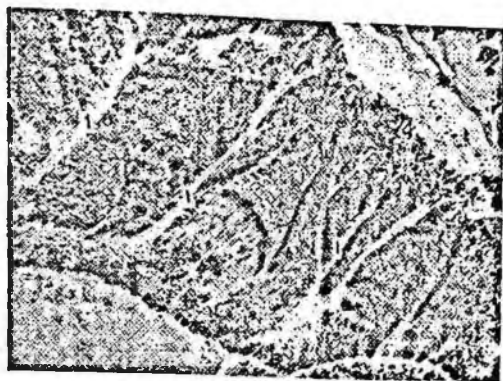


Рис. 20. Пути схода снежных лавин отчетливо обозначаются лесными прочесами (1)

опасными в этом случае являются узкие участки долины V-образной формы, где спустившаяся лавина сможет полностью перегородить долину и русло реки. Менее опасны участки долины корытообразного профиля с широким дном.

Термокарст

В высокогорных районах, где широко развиты многолетнемерзлые породы и погребенные льды, немаловажную роль в формировании селей играет термокарст. Этим термином принято обозначать процесс вытаявания подземного льда, содержащегося в рыхлых горных породах, сопровождающийся местным проседанием поверхности и образованием отрицательных форм рельефа (Ермолаев, 1932).

Интенсивное развитие этого процесса в погребенных ледниковых телах, связанное, как правило, с отепляющим действием вод (гидротермический тип термокарста, по С. П. Качурину, 1961), ведет к образованию полых форм — пещер, гротов, пустот. Для таких участков характерно обрушение кровли вследствие перераспределения гравитационных сил. Обрушение большого количества рыхлого материала сопровождается сейсмическими явлениями. Все это может привести как к непосредственному возникновению селевого потока, так и послужить косвенной причиной последнего. Особенно опасны по своим последствиям сели, развивающиеся при прорыве так называемых «подземных водоемов» в теле морены. Формирование таких селей может быть обязано как ледниковому карстообразованию с обрушением сводов ледового грота в современных моренах, так и гравитационным завалам подземных русел и каналов на участках свободных потоков по термокарстовым полостям в теле древних морен.

Из сказанного видно, что роль термокарста в процессе селеобра-

зования достаточно велика и при определении селеопасности района одной из актуальнейших задач является изучение термокарста.

Все виды форм термокарста могут быть распределены по следующим двум генетическим категориям.

I. Собственно термокарстовые: а) котловины обводненные — термокарстовые озера; б) котловины сухие; в) воронки — обводненные и сухие.

II. Термокарстовые формы смешанного (комплексного) происхождения: а) ложбины; б) русла; в) подземные пустоты.

Характерной чертой таких термокарстовых форм, как котловины и воронки, является их резкая асимметричность. При этом южный (северной экспозиции) борт их крутой, нередко обрывистый, а северный (южная экспозиция) пологий. Это связано прежде всего с неравномерным распределением солнечной радиации по склонам разной экспозиции. Обрывистые склоны северной экспозиции, как правило, затенены и на аэроснимках отличаются четкой контрастностью по сравнению с другими элементами выделяемых форм.

Ложбины и русла, обязанные своим происхождением процессам термокарста, имеют, как правило, сложный профиль в плане и дешифрируются по линейно вытянутым полосам (см. рис. 8).

Кроме прямых признаков, немалая роль при дешифрировании принадлежит и косвенным, таким как геоморфологические и гидрогеологические.

Термокарстовые процессы получают преимущественное развитие на ледниковых отложениях в зоне высокогорья. Они распространены на плоских элементах горного и высокогорного рельефа. При условии широкого развития процессов термокарста на каком-либо участке, здесь можно наблюдать весьма характерный западинно-бугристый микрорельеф. Обычно при этом в комплексе с термокарстом идут такие процессы, как эрозия (термоэрозия) и солифлюкция.

Дешифрирование явлений, связанных с процессами термокарста, не представляет трудностей в том случае, если они развиваются на дневной поверхности. Характерны морфологические формы, легко поддающиеся дешифрированию на аэрофотоснимках по плановым очертаниям или по пространственной конфигурации на стереомодели. Такие термокарстовые явления, как вытаивание ледяных массивов с образованием пещер, гротов, тоннелей, пустот, не выраженные на дневной поверхности, по аэрофотоснимкам практически не дешифрируются.

В заключение кратко коснемся ледяного карста, или карста ледников. На аэрофотоснимках четко дешифрируются узкие вытянутые трещины-провалы на ледниках (см. рис. 12). Они нередко приурочены к морфологическим ступеням структурно-тектонического характера, а также к краевым зонам ледника. Эти участки представляют собой несомненный интерес при дешифрировании аэрофотоснимков, так как именно по этим трещинам нередко циркулируют воды таящего ледника. Несмотря на сравнительно небольшие попе-

речные размеры трещин с поверхности, глубина их, как правило, довольно значительна и порой достигает скалистого ложа. Дешифрированная система таких трещин позволяет иногда выявить пути движения потоков воды в теле тающего ледника и примерно наметить зоны разгрузки их. Важность последнего фактора при решении вопросов прогнозирования селей очевидна.

Солифлюкция

Несмотря на то, что солифлюкция имеет довольно широкое развитие в зоне высокогорья, роль ее в процессе селеобразования незначительна. Это связано в первую очередь с тем, что процесс протекает в верхнем, так называемом «деятельном» слое грунтов, мощность которого сравнительно невелика.

Непосредственное участие в зарождении селя могут принимать только накопления солифлюкционно-смещенного материала в нижних частях склонов или же по краям морен. Но и в этом случае основными поставщиками твердой составляющей для крупных селевых процессов солифлюкционные отложения служить не могут. Поэтому участки, пораженные процессом солифлюкции, можно классифицировать как подготовляющие твердый материал для питания селя.

Ареал изучаемого процесса в горных районах обычно ограничен зоной высокогорья, где широко развиты многолетнемерзлые породы. Дешифрирование процесса солифлюкции базируется в основном на проявлениях этого процесса в рельефе.

Среди криогенных форм на склонах можно выделить две основные группы: собственно солифлюкционные формы — солифлюкционные террасы и явления комплексного происхождения — каменные шлейфы и потоки, каменные глетчеры и солифлюкционные покровы.

Под солифлюкционными террасами понимаются склоновые формы чисто натечного происхождения. Они встречаются в основном в нижних частях пологих склонов и сложены рыхлым материалом, в составе которого большое процентное содержание мелкозернистой фракции. По этим признакам они отличаются от так называемых нагорных или денудационных террас. Иногда можно наблюдать несколько уступов террас, следующих друг за другом, при этом ступенчатый характер склона отчетливо прослеживается на аэроснимках (рис. 21) с неясно пятнистым рисунком натечных образований.

Единый солифлюкционный процесс, приведший к образованию террас, обусловил и однородность, сглаженность поверхности их, что отличает поверхность солифлюкционных террас от поверхностей остальных выделяемых криогенных форм. Связанные с этим различия микроструктуры и рисунка поверхностей их хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках.

Каменные шлейфы, потоки, каменные глетчеры и солифлюкци-



Рис. 21. Солифлюкционные покровы выделяются по характерному чешуйчатому или гофрированному рисунку аэрофотозображения (1)

онные покровы обязаны своим происхождением комплексу процессов, основными из которых помимо солифлюкции и криогенной десерпции, являются также процессы выветривания, осыпания, оползания и термокарста.

Все выделенные криогенные формы развиты на склонах крутизной до $10-12^\circ$ (Колотилин, 1961) и реже до 20° (Боч, 1948; Каплина, 1965).

Такие формы, как каменные шлейфы и потоки, каменные глетчеры и солифлюкционные покровы создают своеобразный чешуйчатый или гофрированный рисунок поверхности на аэрофотозображении (рис. 22). Особенно четко выделяется такой рисунок благодаря снегу, сохраняющемуся в виде узких полос, оконтуривающих уступы солифлюкционных микроформ. Это связано с закономерной



Рис. 22. Солифлюкционные террасы отчетливо выделяются по ступенчатому характеру склонов и расплывчатому неяснопятнистому рисунку (1)

стью неравномерного схода снежного покрова на неровных склонах и образования перелетков на затененных участках при соответствующих климатических условиях. В создании валиков, бугров и других неровностей на поверхности криогенных мезоформ участвуют солифлюкция и криогенная десерпция. В итоге верхний (деятельный) слой движется довольно быстро, и у уступов каменных потоков, глетчеров или в нижних частях каменных шлейфов и солифлюкционных чехлов накапливается смещенный материал. Здесь по аэрофотоснимкам часто можно проследить изменения фототона от светлого на поверхности выделенной криогенной формы до более темного в нижней ее части. Это объясняется выходом надмерзлотных вод и связанным с этим повышенным увлажнением скопившегося внизу рыхлого материала.

Каменные шлейфы и потоки развиты на моренах. Нередко они приурочены к длинным крутым склонам или к боковым их участкам там, где идет непрерывное пополнение каменного материала за счет активных процессов денудации коренных склонов. Иногда они покрывают всю поверхность морены, повторяя в плане ее очертания, и имеют на аэроснимках радиально- или параллельно-струйчатый рисунок изображения.

Каменные глетчеры получили название за свои вытянутые языкообразные формы и характер микрорельефа, напоминающий поверхность активных долинных ледников. Встречаются они в различных частях склонов. Закладываются каменные глетчеры обычно в отрицательных мезоформах, нередко связанных с тектонически ослабленными зонами.

Солифлюкционные покровы преимущественно распространены на поверхностях выравнивания в верхних частях склонов. Но подобные криогенные формы могут встречаться и на других выложенных участках. Конфигурация их поверхности в плане самая разнообразная, в основном неправильная. Иногда по аэрофотоснимку под чехлом рыхлых отложений можно наблюдать эрозионно-коррозионные ложбины в породах коренной основы благодаря более светлым тонам покрывающих их рыхлых отложений.

Дешифрирование процесса солифлюкции только на основании выделенных криогенных форм не даст полной картины развития этого процесса в горных районах. На многих участках эти формы видоизменены другими процессами и явлениями — гравитации, термокарста, эрозии, идущими в комплексе с описываемым процессом. Мелкие же натечные формы могут не просматриваться на снимках 1 : 15 000 — 1 : 20 000 масштаба. Отсюда следует, что процесс солифлюкции должен выделяться не только на основе дешифрирования внешних факторов его проявления, но и путем широкого анализа геологических, морфологических и мерзлотно-климатических условий изучаемой местности.

Одновременно с этим выделяемые криогенные мезоформы рельефа и типичный натечный микрорельеф являются индикаторами на многолетнемерзлые породы. При этом характерный для процесса

солифлюкции микрорельеф поверхности позволяет косвенно судить и о том, что в составе слагающего ее рыхлого материала имеется большое процентное содержание мелкоземистой фракции.

Выветривание

При изучении процессов селеобразования особое место должно отводиться процессам выветривания.

Процесс выветривания подготавливает обломочный материал для дальнейшего перемещения его в зону активного действия селевого потока. Весьма закономерно, что именно в области формирования очагов зарождения селевых процессов выветривание наиболее интенсивно.

При дешифрировании аэроснимков прямыми признаками процесса выветривания являются характерные формы, создаваемые этим процессом. Это глыбовые развалы, «каменные моря» на плоских поверхностях водоразделов, узкие неровные «пилообразные» гребни гор, останцы выветривания на склонах, трещины выветривания.

Значительно больший объем информации может быть получен при помощи косвенных дешифровочных признаков, основанных на учете взаимосвязей между природными элементами географической среды.

Учитывая корреляционные связи исследуемого процесса, представляется удобным из системы косвенных дешифровочных признаков выделить главные. Таковыми являются геоморфологические признаки — типы рельефа, дешифрирование которых описано выше (см. § 3, гл. 3).

В зоне высокогорья выделяется три типа рельефа. Для этой зоны характерен суровый климат с отрицательными среднегодовыми температурами и резкими суточными перепадами их, пониженная стойкость массива пород коренной основы к выветриванию в результате тектонических процессов и высокая степень обнаженности их, активность гравитационных процессов и крайне малый процент биомассы по площади. Этими факторами и обусловлено широкое развитие здесь процессов морозного выветривания и высокая интенсивность их. Наряду с этим в каждом из типов рельефа процесс выветривания имеет и ряд особенностей.

В районе высокогорного альпийского рельефа (см. рис. 2) хорошо выделяются участки, свободные от льда, порожденные морозным выветриванием, где скорости разрушения (глыбовая дезинтеграция) весьма высоки. Продукты выветривания скапливаются в нижних частях склонов. Благодаря практически непрерывному возобновлению экспозиции процесс выветривания здесь отличается относительно стабильной активностью. Иной характер имеют процессы на участках, бронированных ледниками. В роли разрушающего фактора выступает экзарация, разрушающая скальное ложе в процессе движения ледника. Здесь интенсивность дробления пород сильно

повышается на путях фильтрации водных потоков при условии их периодического замерзания.

В пределах высокогорного альпийского рельефа (см. рис. 3) с реликтами древнего оледенения также наблюдается преимущественно морозное выветривание. Условия протекания процесса близки здесь к тем же условиям на участках, свободных от ледяного покрытия первого выделенного района. Соответственно нет и существенных отличий в характере самих процессов.

На территории распространения описанных типов рельефа встречаются древние поверхности выравнивания, не успевшие подвергнуться расчленению до наступления периода оледенения. На этих участках, хорошо распознаваемых на аэроснимках, в результате деятельности процессов выветривания породы разрушены до верхней границы слоя нулевых колебаний температур. Характер действия процесса в настоящее время здесь несколько иной, чем на большей части зоны высокогорья. Действие процесса направлено на дальнейшее измельчение элювия. Продукты выветривания на таких участках, имеющие характер каменных развалов, обуславливают своеобразную зернистую структуру фотоизображения.

Район высокогорного глубокорасчлененного типа рельефа (см. рис. 4) при условии преимущественного развития физического выветривания отличается меньшей активностью последнего. Это связано с изменением окружающих природных условий. Здесь уже имеет место и химический тип выветривания. Процессы биохимического выветривания протекают на участках, покрытых растительностью. Но этот тип выветривания по активности действия и занимаемой площади обычно весьма незначителен.

Для среднегорного расчлененного типа рельефа (см. рис. 5) наряду с физическим, типичен и химический тип выветривания. При этом интенсивность и распространение физического типа выветривания здесь гораздо меньше, чем в районах высокогорья. Это обусловлено общим смягчением климата, сглаживанием рельефа, широким развитием чехла рыхлых отложений, увеличением площади, покрытой растительностью. Заметную роль в общем объеме процессов выветривания играет биологический фактор. Изменился и продукт выветривания в сторону увеличения мелкоземистых фракций в составе пород. Это изменение, как известно, связано с различием в природе самих типов выветривания.

Наиболее тонкое дробление происходит на пониженных увлажненных участках, где создаются благоприятные условия для интенсивного химического выветривания. По литературным данным скорость образования мелкозема за счет процессов химического выветривания в увлажненной породе в 160 раз быстрее, чем в сухой. Таким образом, при необходимости можно выделить участки повышенной интенсивности процесса химического выветривания.

В районах верхней и нижней предгорной ступени (см. рис. 6) преимущественное распространение получили процессы химического выветривания, что обусловлено особенностями господствующими

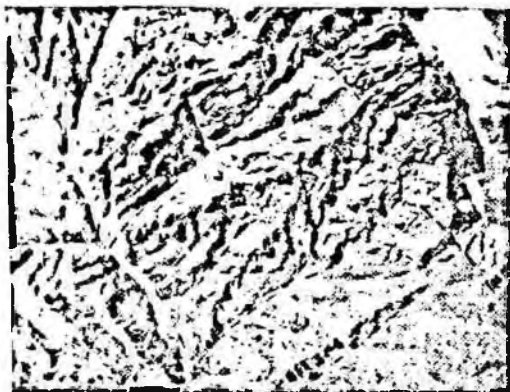


Рис. 23. Тектонические трещины, секущие склоны в поперечном направлении, являются путями сноса рыхлого материала, пополняющего селевого поток

щих здесь природных условий. Роль выветривания в этих районах как одного из факторов селеобразования настолько незначительна, что практически может не учитываться.

Отдельно следует рассмотреть линейное выветривание. Вопрос о характере развития процесса выветривания по трещинам освещен в имеющейся литературе достаточно полно. При изучении участков линейного выветривания (сеть трещин) следует обращать внимание прежде всего на степени приближенности их к очагам зарождения селей. Это хорошо иллюстрирует рис. 23. Четко выраженная тектоническая трещина сечет коренной склон селеопасной долины вдоль. Роль ее в процессе селеобразования практически может не учитываться. Меньшего размера трещины, секущие тот же склон в поперечном направлении, служат путями сноса выветрелого каменного материала со склона, образующего шлейфы осыпей. Материал этих осыпей может пополнять твердую составляющую селевого потока в процессе его движения. Нередко и по самим трещинам идет интенсивное выветривание материала и вынос его. В этом случае образуются узкие кулуары и иногда даже ложбины. Материал, вынесенный по такой трещине, отлагается в долине в виде конуса. При прохождении селевого потока обломочный материал этого конуса пополняет твердую составляющую селя. Дешифрирование участков линейного выветривания основано на выявлении отдельных трещин и зон повышенной трещиноватости.

Таким образом, путем дешифрирования аэроснимков можно получить следующие данные о характере выветривания: а) установить распространение основных типов выветривания; б) оценить сравнительную интенсивность процессов выветривания на различных участках территории; в) определить местоположение и площадные характеристики участков линейного выветривания; г) установить характер продуктов выветривания.

Осыпи

Осыпи играют важную роль в селеобразовании являясь поставщиками твердого стока селевых потоков. В результате процесса осыпания рыхлообломочный материал, образовавшийся на склоне и формирует осыпные накопления, перемещается вниз по склону, близких к предельному равновесию. При малейшем нарушении равновесия путем подмыва основания водным потоком, воздействия атмосферными осадками или действия сейсмических колебаний несвязный рыхлообломочный материал осыпей оползает и обрушается непосредственно в русло водотоков, обогащая последние твердой составляющей.

Подобные явления часто наблюдаются в долинах горных рек и вызывают небольшие местные селепроявления. Учитывая большое распространение осыпей в горных районах, можно полагать, что количество твердой составляющей селей, поставляемой осыпями, в общем балансе весьма значительно. Поэтому очень важно в процессе дешифрирования селей выявить площади распространения осыпей, определить состав и характер слагающих их пород, а также устойчивость осыпных склонов.

Дешифрирование осыпей основано на использовании как прямых, так и косвенных признаков. Важнейшими из них являются: фототон, яркостный контраст, форма, размер и микроструктура аэрофотоизображения.

Тоновые характеристики фотоизображения осыпей не остаются однородными, а изменяются от очень светлых до светло-серых и серых. Это обусловлено тем, что спектральная отражательная способность поверхности осыпей, сложенных рыхлообломочным материалом, зависит от его механического состава, влажности, степени выветривания и подвижности. Так, например, в горах Заилийского Алатау осыпи, приуроченные к основным и ультраосновным интрузиям верхнего кембрия в высокогорной зоне, имеют более темный фототон по сравнению с осыпями, развитыми на других породах. Потемнение фототона порой связано и с повышенным увлажнением гравитационных отложений в нижних частях склонов. На основе анализа фототона можно с известным приближением судить и о степени подвижности осыпей, подразделив их на: осыпи с активным процессом осыпания и дальнейшего перемещения материала; осыпи, где участки с активным процессом осыпания локальны, и осыпи, где процессы осыпания находятся в стадии затухания.

Активные осыпи отличаются светлым фототоном, который контрастирует с более темными тонами фотоизображения коренных пород. На пологих склонах, где процессы осыпания находятся в стадии затухания, более мощный рыхлый покров перемещается гораздо медленнее, местами поверхность осыпей задернована и покрыта травянисто-кустарниковой растительностью, в результате чего такие осыпи на аэроснимках по сравнению с вышеописан-



Рис. 24. Осыпи-потоки с характерными ветвящимися рукавами (1) и конусами выноса (2). Осыпи-треугольники (3) располагаются в нижней части склонов. Пятна осыпей (4)

ными имеют более темный — серый, иногда темно-серый фототон. Соответственно и яркостный контраст таких осыпей менее резок, чем в предыдущем случае.

Весьма характерным дешифровочным признаком осыпей служит их форма. По этому признаку можно выделить следующие морфологические типы осыпей: потоки, треугольники, шлейфы, чехлы и пятна.

Осыпи-потоки имеют форму полос, вытянутых вниз по склону с ветвящимися рукавами (рис. 24). Такие осыпи обычно расположены в лотках и ложбинах на крутых расчлененных участках склонов, в денудационных и каровых воронках. Они отличаются светлым фототонем. В их составе преобладает крупнообломочный материал с незначительным содержанием супесчанодресвянистого заполнителя. Часто встречаются глыбы до 10—15 м в поперечнике. Материал, слагающий описываемый тип осыпей, обладает большой степенью подвижности. В нижней части описываемых осыпей можно наблюдать формы, характерные для конусов выноса.

Осыпи-треугольники располагаются в нижней части склонов и имеют в плане форму треугольника (см. рис. 24). Основ-



Рис. 25. Осыпи-шлейфы (1) окаймляют нижние части склонов в виде фестончатых полос

ное их отличие от осыпей-потоков заключается в том, что процентное содержание материала, слагающего зону транспортировки, и материала в зоне накопления для описываемого типа осыпей явно в пользу последнего, тогда как для осыпей-потоков это соотношение обратное.

Поверхность осыпей-треугольников выпуклая. Для них характерно увеличение мощности отложений вниз по склону и от краев треугольника к центру, а также увеличение крупности обломков от вершины к основанию осыпи. Механический состав отложений, слагающих описываемый тип осыпей, отличается неоднородностью. С поверхности, особенно вблизи основания, осыпи-треугольники сложены преимущественно глыбовым материалом. Состав заполнителя, как и его процентное содержание, изменяется сверху вниз (от кровли к подошве). Для щебнисто-дресвянистых осыпей содержание заполнителя в общем объеме грунта увеличивается с глубиной и в его составе появляется мелкоземистая фракция. Степень подвижности материала описываемых типов осыпей несколько ниже, чем у осыпей потоков. В ряде случаев на таких осыпях процессы осыпания находятся в стадии затухания, о чем свидетельствует задернованность склонов и более темный тон фотозображения.

Осыпи-шлейфы окаймляют обычно нижние части склонов и протягиваются вдоль долин рек и ручьев в виде разорванных полос (рис. 25).

Этот тип осыпей образован нередко слившимися осыпями-потоками и осыпями-треугольниками. При этом верхняя граница осыпей-шлейфов имеет зубчатое очертание. Состав материала этого типа осыпей в зоне высокогорья такой же, как и у осыпей-треугольников. В зоне же среднегорья в составе грунтов, слагающих шлейфы осыпей, приуроченных к долинам крупных водотоков, рез-



Рис. 26. Осыпной чехол (1) покрывает сплошным каменным материалом вершины и склоны гор

ко возрастает содержание мелкозема и в отдельных случаях достигает 40%.

Осыпной чехол покрывает почти сплошным покровом каменного материала вершины и склоны гор (рис. 26). Для этого типа осыпей характерны большие размеры, незначительный процент выхода коренных пород на дневную поверхность и сравнительно меньшая крутизна склонов. В силу этого скорость перемещения материала на таких осыпях замедлена и нередко поверхность их задернована.

В составе матернала, слагающего этот тип осыпей, преобладает каменисто-щебнистая фракция и мелкие глыбы. В зоне высокогорья содержание заполнителя незначительно. Это преимущественно дресва. Ниже, в зоне среднегорья, в составе заполнителя появляется мелкозем и процентное содержание самого заполнителя увеличивается.

Пятна осыпей имеют небольшие размеры и самую разнообразную форму в виде округлых, светлых вытянутых, изогнутых и угловатых контуров (см. рис. 24). Они приурочены, как правило, к перегибам склонов и не имеют заметно выраженной области питания.

В процессе дешифрирования осыпей важным признаком является строение аэрофотоизображения отдельных контуров, называемое нами микроструктурой. Микроструктура осыпей на аэроснимках обычно обусловлена характером осыпного материала, различной степенью его подвижности и распределения растительности на поверхности осыпей. Можно выделить следующие типы микроструктур: однородная (гомогенная), мелкоточечная, неравномернозернистая, линейно- или дугообразнополосчатая, неравномернопятнистая.

Однородная, или гомогенная микроструктура аэрофотоизображения (рис. 27, а) характерна для свежих осыпей, сложенных

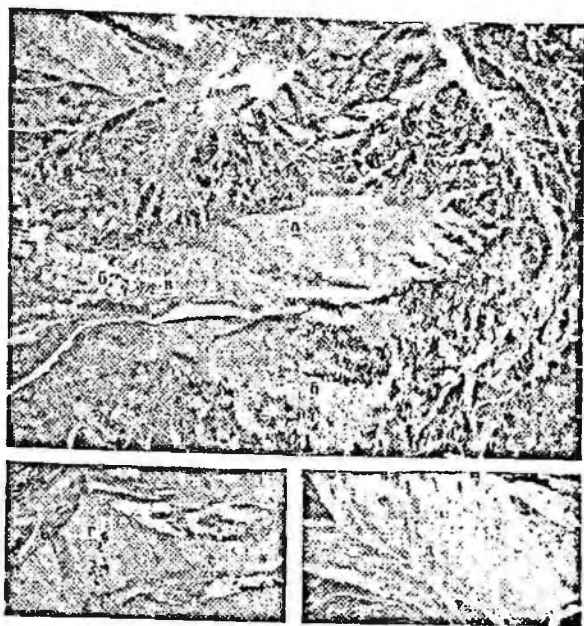


Рис. 27. Микроструктура аэрофотоизображения осыпей
 а — однородная; б — точечная; в — неравномернoзернистая; г — ли-
 нейно-полосчатая; д — неравномернопятнистая

сравнительно выдержанным по площади щебнистым и щебнисто-древянистым материалом, а также для закрепленных осыпей, поверхность которых равномерно покрыта травянистой растительностью. Такая микроструктура поверхности присуща в основном пятнам осыпей и чехлам.

Точечная микроструктура (рис. 72, б) обычно наблюдается на фотоизображении поверхности свежих осыпей с хорошо подвижным материалом, неоднородным по составу. На среднемасштабных аэроснимках при 3—4-кратном увеличении крупноглыбовый материал, вернее собственная или падающая тень отдельных крупных глыб, просматривается в виде темных точек. Наиболее характерна описываемая микроструктура для осыпей треугольников, шлейфов, реже чехлов и потоков.

Неравномернoзернистая мелкозернистая микроструктура (рис. 27, в) обусловлена кустарничковой и кустарниковой растительностью. Она типична для слабоподвижных задренованных осыпей, где процесс осыпания находится в стадии затухания.

Линейнополосчатая и дугообразнополосчатая микроструктуры (рис. 27, г) наблюдаются у осыпей с различной степенью подвижности материала и встречаются при слиянии отдельных каменных потоков.

Неравномернопятнистая микроструктура (рис. 27, д) обусловливается неравномерным распределением растительности на поверхности осыпи и характерна для полустакрепленных осыпей. Подобная структура фотонизображения поверхности часто встречается у пятен осыпей и чехлов в зоне среднегорья.

Изучение фотосхем дает возможность установить зональные особенности распространения осыпей. В горных районах Заилийского Алатау, в области высокогорного рельефа, осыпи занимают значительные площади. Средние размеры осыпи составляют 0,2—0,3 км². По составу они крупнообломочные или глыбовые, так как важнейшим фактором разрушения и перемещения обломков горных пород служит физическое выветривание и гравитационные процессы, интенсивно протекающие в зоне высокогорья. Наибольшим распространением здесь пользуются осыпи, чехлы, меньше места занимают осыпи, шлейфы, треугольники и потоки. Заметной дифференциации осыпей на склонах различной экспозиции не отмечается.

Иная картина наблюдается в среднегорье. Осыпи здесь занимают небольшие площади, а средние размеры их значительно меньше 0,04—0,06 км². Доминирующими факторами разрушения пород в описываемой зоне являются процессы химического и биохимического выветривания, что и обусловило преобладание здесь в составе материала, слагающего осыпи, щебнистой и щебнистодресвянистой фракции с большим содержанием мелкозема в качестве заполнителя. По форме осыпей в описываемой зоне преобладают пятна. Здесь же можно проследить сравнительно заметную приуроченность осыпей к склонам южной экспозиции.

Оползни

Оползневые деформации горных склонов вызывают перемещение рыхлообломочного материала в русло водотоков и в ряде случаев приводят к образованию временных запруд, при прорыве которых могут формироваться селевые потоки. Таким образом, оползни следует рассматривать как возможные очаги зарождения селей или как источник пополнения их твердой составляющей.

При изучении оползней большую пользу могут оказать материалы аэрофотосъемки. Дешифрирование аэроснимков позволяет выявить смещения оползневого характера, установить их тип, изучить морфологические особенности и получить важнейшие количественные характеристики оползней, а также определить возможные причины их образования. Все это дает основание сделать правильный прогноз дальнейшего развития оползневого процесса и оценить его роль в селеобразовании.

Выявление оползней на аэроснимках производится по совокупности дешифровочных признаков, важнейшими из которых являются: форма, размеры, морфологические особенности оползней, фототон и рисунок аэрофотоизображения.

В горных районах оползни имеют широкое распространение. Они обычно приурочены к берегам рек и ручьев, к овраго-балочной сети, а также развиваются на различных частях горных склонов, не имея явно выраженного базиса. Размеры и характер оползней весьма разнообразны: от небольших поверхностных смещений размером в несколько квадратных метров до громадных оползней, занимающих площадь до десятков квадратных километров.

Оползневые смещения вызывают существенное изменение в рельефе и геологическом строении склона. Являясь отражением протекающего оползневого процесса, внешние морфологические особенности оползней зависят от целого ряда факторов и в первую очередь от геологического строения, т. е. от состава пород, их чередования в разрезе, условий залегания и физико-технических свойств. Известную роль играют также гидрогеологические и сейсмотектонические условия. Поэтому морфологические особенности оползней, выявляемые на аэроснимках, в известной мере могут свидетельствовать о механизме деформаций горных склонов и служить индикаторами состава пород, наличия подземных вод.

В зависимости от геологического строения, условий образования и морфологических особенностей оползней горных районов подразделяются на следующие основные типы:

1. Оползни-обрушения на фронтальных уступах современных и верхнечетвертичных морен.
2. Оползни, развивающиеся вдоль крутых бортов долин, сложенных флювиогляциальными и аллювиально-пролювиальными отложениями.
3. Оползни-обвалы в скальных породах.
4. Оползни в лёссах и лёссовидных суглинках.

Первый тип оползней встречается в области альпийского высокогорья. Одиночные крупные оползни-обрушения развиваются на крутых уступах современных и верхнечетвертичных морен, сложенных глыбово-щебнистым материалом с супесчаным и песчаным заполнителем. Причинами их образования являются большая крутизна склонов уступов морен и подрезка их основания интенсивно развивающейся эрозионной деятельностью постоянных и временных водотоков, а также увлажнение грунтов талыми водами ледников и гидродинамическое давление при фильтрации вод в сторону уступа морен. На аэроснимках такие оползни распознаются по характерной форме цирков, располагающихся в верховьях крутостенных оврагов. Оползни этого типа одиночные, одноярусные, размером до 200 м в поперечнике. Крутые отвесные стенки срыва крутизной до 70—80° имеют высоту от 30—40 до 70—100 м и выделяются по четким светлым линиям и темно-серым плотным теням. В основании стенок срыва наблюдаются концентрированные выходы источников, дающие начало постоянным и временным водотокам. Оползневые тела быстро размываются водотоками и обычно не наблюдаются. Подобного типа оползни-обрушения иногда имеют



Рис. 28. Оползни, развивающиеся вдоль крутых бортов долин, выделяются на аэроснимках по циркуобразной форме и светлому тону (1). При групповом расположении они образуют светлые полосы с неровными фестончатыми краями (2)

катастрофический характер и могут явиться причиной образования крупных селевых потоков.

Оползни, развивающиеся вдоль крутых бортов долин, сложенных флювиогляциальными и аллювиально-пролювиальными отложениями валунно-галечникового состава с супесчаным заполнителем, распространены как в области эрозионного высокогорья, так и в областях среднегорья и ступенчатого предгорья. Образование таких оползней связано с боковой и глубинной речной эрозией постоянных и временных водотоков, а также с увлажнением пород за счет подземных вод. Оползни свежие приурочены к террасированным участкам долин с крутыми, местами обрывистыми склонами. Они представляют собой небольшие цирки срыва до 20—30 м в поперечнике и 50—100 м в длину. Глубина захвата пород оползнями составляет от 1 до 10 м. Оползни имеют циркуобразную форму и групповое расположение. Сливаясь друг с другом, они поражают террасированные склоны долины на значительном ее протяжении. На аэроснимках такие участки выделяются по вытянутому полосам очень светлого и светлого тона с неровными фестончатыми краями и гомогенной структурой изображения (рис. 28). Оползневых накоплений в основании склона, как правило, не наблюдается, так как последние полностью размываются постоянными и временными водотоками. Оползни подобного типа являются источником пополнения твердого материала селей во время его движения. В отдельных случаях нарушение береговых склонов сопровождается частичными завалами русел с подпруживанием водотока, что иногда приводит к формированию небольших селевых потоков.

Оползни-обвалы в скальных породах наблюдаются в области



Рис. 29. Оползни-обвалы в скальных породах выделяются на аэроснимке по правильным геометрическим формам оползневых тел (1). Наличие тьяншаньской ели на поверхности оползневых блоков свидетельствует о давнем возрасте оползня-обвала

эрозийного высокогорья и среднегорья на крутых участках склонов с углами наклона более 30° . Деформации подобного рода в большинстве случаев бывают вызваны сейсмотектоническими явлениями. Поверхность срыва и форма сместившихся блоков обусловлена наличием тектонически ослабленных зон и трещин. Поэтому такие оползни-обвалы на аэроснимках выделяются по правильным геометрическим формам оползневых тел в основании склона в виде треугольника, квадрата, трапеции, а также неравномерно-зернистому рисунку, обусловленному наличием отдельных крупных глыб (рис. 29). Крупные оползни-обвалы могут перегораживать русла рек и образовывать горные озера.

Наиболее широко оползни развиты в лёссах и лёссовидных породах, в области ступенчатых предгорий. Среди них можно выделить несколько морфологических разновидностей: циркообразные, ложковидные, глетчеровидные, дендритовидные и площадные.

Циркообразные оползни развиваются на склонах крутизной $25-30^\circ$, сложенных мощной толщей суглинков. Размеры цирков достигают 200 м и более. Глубина захвата оползней составляет от 5 до 30—40 м. Оползневые тела имеют пологую бугристую поверхность с характерными натечными формами. Нередко оползневой материал отлагается на поверхности древних речных террас.

Оползневые цирки чаще располагаются вдоль склона. Образование оползней такого типа объясняется сейсмическими ударами, под влиянием которых грунт переходит в текучее состояние с образованием глубоких депрессионных цирков. На аэроснимках такие оползни выделяются по характерной изометричной и неправильно циркообразной форме и четко выраженным стенкам срыва светлого



Рис. 30. Аэрофотонизображение различных типов оползней в лёссах и лёссовидных суглинках: циркообразные (1), глетчеровидные (2), дендритовидные (3). Наличие рощ растительности на оползневых поверхностях свидетельствует об их давнем возрасте

тона. Сместившиеся массы пород имеют характер патечных форм с грядово-бугристой поверхности неоднородного тона изображения (рис. 30).

Ложковидные и глетчеровидные оползни приурочены преимущественно к северным склонам ступенчатых предгорий и склонам глубоких логов, расчленяющих поверхность предгорий с юга на север. Оползни захватывают различные участки склонов. Ложковидные оползни характеризуются наличием оползневого цирка в верхней части и глетчеровидного грунтового потока в нижней. Глетчеровидные оползни вытянуты по склону и их длина значительно превышает ширину. Размеры их различны: ширина от 5 до 120 м, длина от 60 до 600 м. Глубина захвата пород оползнями незначительная и не превышает 3—5 м. Образование таких оползней связано с пластическими деформациями и переходом суглинков в текучее состояние в результате высачивания подземных вод на склонах и сейсмических явлений.

На аэроснимках они дешифрируются по форме узких рукавообразных впадин и характерному патечному рисунку неоднородного тона с дугообразными складками, расположенными поперек склона. По боковым краям оползней обычно хорошо заметны канавообразные борозды. В зоне транзита глетчеровидные оползни иногда оставляют на склонах рукавообразных понижений серию валов выпирания, по наличию которых можно судить о повторности оползневых процессов. Неоднородность рисунка изображения сместившихся оползневых масс обусловлена различной степенью

увлажнения пород с образованием небольших заболоченных участков в многочисленных неровностях оползневого тела, которые на аэроснимках имеют серый и темно-серый фототон.

Ложкообразные оползни в отличие от глетчеровидных имеют широкую и округлую вершину в головной части и узкий рукавообразный канал сброса оползневой породы в нижней части оползневого цирка. На аэроснимках такие оползни выделяются по вытянутым полосам светлого тона на течной структуре.

Дендритовидные оползни представляют собой группу слившихся друг с другом глетчеровидных или ложкообразных оползней, имеющих общий канал сброса сползших масс. Такие оползни широко распространены в многочисленных логах и оврагах. На аэроснимках они имеют ветвистый рисунок изображения неоднородного тона, зернистой, гомогенной или на течной структуры.

Площадные оползни

получили широкое развитие на склонах верхних и нижних прилавков. На отдельных участках пораженность склонов такими оползнями достигает 60% и более. Они представлены мелкими слившимися между собой оползнями разного вида; глетчеровидными, циркообразными, дендритовидными и др. Однако преобладают глетчеровидные. Площадные оползни не имеют четко выраженных очертаний. На их поверхности часто наблюдаются многочисленные эрозийные борозды и промоины. Глубина захвата у этих оползней, как правило, небольшая — 3—5 м. На аэроснимках они выделяются по своеобразному пятнисто-полосчатому рисунку изображения неоднородного серого тона гомогенной и зернистой структуры (рис. 31).

Все оползни, развитые в лёссах и лёссовидных породах, отличаются большой подвижностью. Поэтому оползневые массы выдвигаются гораздо дальше подошвы склона, а языки оползней часто сужают и перегораживают русла временных и постоянных водотоков, что способствует образованию селевых потоков.

По материалам аэрофотосъемки можно выявить не только раз-



Рис. 31. Площадные оползни (1) не имеют четко выраженных границ и выделяются на аэроснимках по пятнисто-полосчатому рисунку изображения неоднородного серого тона зернистой структуры. На поверхности оползней наблюдаются многочисленные борозды и промоины (2)



Рис. 32. Наличие трещины растяжения (1) и ступеней проседания (2), отчетливо различаемых на аэроснимках, свидетельствует о начальной стадии развития оползней

личные типы оползней, но и установить степень активности оползневых процессов и стадию их развития.

О первых стадиях формирования оползней свидетельствуют оползневые трещины растяжения, которые на аэроснимках имеют вид изолированных друг от друга темно-серых линий, расположенных по дугообразной кривой, обращенной в сторону склона (рис. 32). По таким трещинам происходит первичное смещение пород с образованием ступеней проседания, которые различаются при стереоскопическом рассмотрении аэроснимков. Это дает возможность прогнозировать образование оползней и четко наметить контуры будущего оползания.

Наиболее хорошо на аэроснимках выделяются активные оползни по светлому или светло-серому тону изображения обнаженной поверхности, резкому яркостному контрасту и четким границам. Оползни часто имеют отчетливо выраженные морфологические признаки, по которым можно выделить различные части оползневого склона; стенки срыва, оползневые уступы, гряды и валы выпирания и т. п. (рис. 33).

Давние стабилизовавшиеся оползни имеют более темные тона изображения, от светло-серого до темно-серого, и менее четкие яркостные контрасты. Отдельные морфологические признаки оползневых склонов плохо выражены, сглажены и изменены, а в ряде случаев и уничтожены последующими процессами эрозии. Поверхность оползневых массивов иногда прорезана сетью промоин и оврагов или задернована и покрыта кустарниковой или древесной растительностью.

По характеру растительного покрова можно судить об относительном возрасте оползневых подвижек.

Заращение оползней зависит прежде всего от субстрата. В ле-

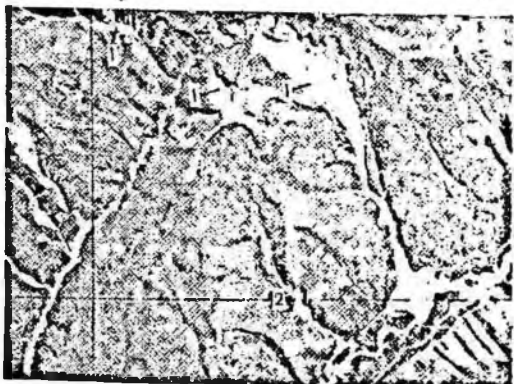


Рис. 33. Свежие оползни отчетливо различаются на аэроснимках по светлому и светло-серому тону изображения обнаженной поверхности, резкому и яркостному контрасту и четким границам (1, 2)

сослепном поясе на суглинистых субстратах зарастание свежих оползневых поверхностей начинается со стадии мать-и-мачехи. В дальнейшем в ее группировках появляются донники, цикорий, полыни, а также корневищевые злаки (вейники, пырей ползучий), которые в короткое время сменяют мать-и-мачеху. Последующие смены растительного покрова идут по пути восстановления степной растительности или рощ плодовых деревьев (абрикосы, яблони, боярышник), свойственных окружающим склонам.

На каменистых и щебнистых субстратах зарастание начинается с появления пионерных кустарников и древесных растений (кароганы, боярышники, абрикос, рябины), наряду с донниками, иван-чаем и другими пионерным разнотравьем.

На давних стабилизировавшихся оползневых поверхностях встречается сформировавшиеся заросли упомянутых кустарников или рощ плодовых деревьев.

В поясе еловых лесов на каменистых субстратах северных склонов зарастание идет непосредственно с появления самосева тяньшаньской ели, и тогда абсолютный возраст оползневых поверхностей хорошо определяется по величине и размеру ее особей. В случае суглинистого субстрата возобновление ели невозможно, ибо ее подрост подавляется горной луговой растительностью. В этом случае через ряд промежуточных стадий формируются горные или остепненные луга.

Поверхности древних оползней по растительности не отличаются от окружающих склонов.

Стадии зарастания оползневых поверхностей отчетливо дешифрируются на аэрофотоснимках.

Различные по возрасту генерации оползней (активные, давние и древние) могут быть выделены по аэроооимкам также и на ос-

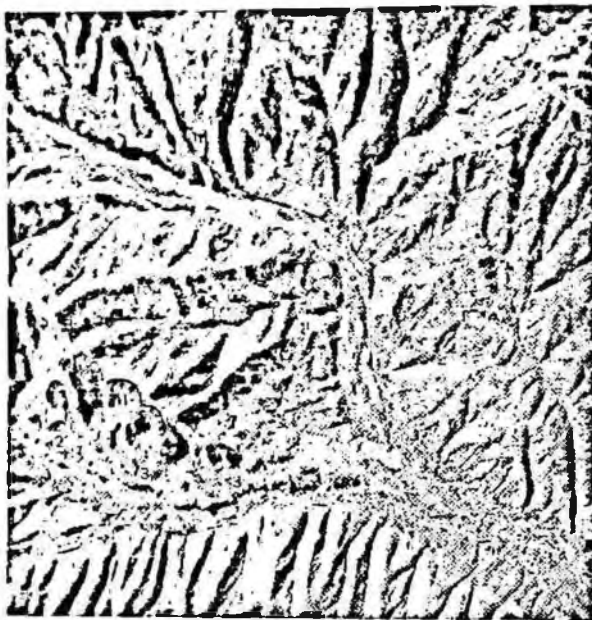


Рис. 34. Участок оползневого склона с тремя генерациями оползней: древние (1), давние (2), активные (3)

нове анализа взаимоотношений их с различными геоморфологическими уровнями, соответствующими базисам эрозии.

На рис. 34 показан участок оползневого склона, где отчетливо выделяются три генерации оползней, приуроченных к различным базисам эрозии.

Современные свежие мелкие оползни наблюдаются на уступе первой надпойменной террасы, и их образование связано с подмывом берега рекой. Крупные древние оползни своей языковой частью примыкают ко второй надпойменной террасе, уровень которой для них являлся базисом эрозии. Можно поэтому предполагать, что формирование этого оползневого склона происходило в верхнечетвертичное время, т. е. в период образования второй надпойменной террасы.

Последующие эрозионные процессы с образованием промоин и оврагов не только сгладили и изменили первичные формы древних оползней, но способствовали активации новых мелких оползневых подвижек.

Таким образом, дешифрирование материалов аэрофотосъемки позволяет получить информацию о распространении, типах, возрасте оползневых смещений, а также оценить роль оползневых смещений в процессе селеобразования.

Эрозия

Эрозионные процессы играют существенную роль в образовании селей. С их деятельностью в значительной степени связано разрушение горных пород и поступление рыхлого материала, составляющего твердую фазу любого селевого потока. Об активной роли эрозионных процессов в селеобразовании свидетельствует выделение особой генетической группы селевых эрозионных очагов, когда первоначальное сдвигание твердой фазы селей происходит за счет эрозионной деятельности воды (Ермаков, 1962). Проявление активной деятельности эрозионных процессов может служить важным индикатором селевых явлений. Поэтому при исследовании селеопасных районов очень важно оценить современное состояние эрозионной деятельности и ее дальнейшее развитие в связи с проведением инженерных и хозяйственных мероприятий.

Использование материалов аэрофотосъемки открывает широкие перспективы в изучении эрозионных процессов, поскольку эрозионные образования достаточно отчетливо изображаются на аэроснимках. Пользуясь простейшими стереоизмерениями, можно получить по аэроснимкам все важнейшие морфологические и морфометрические характеристики как отдельных эрозионных форм, так и всей эрозионной сети в целом. Кроме того, сравнение материалов аэрофотосъемки прошлых лет с наземными наблюдениями на местности или сопоставление аэроснимков разновременных залетов по одной и той же территории позволяет получить данные о динамике эрозионных процессов и сделать прогноз дальнейшего их развития.

По характеру и результатам воздействия на склоны эрозионные процессы могут быть подразделены на плоскостной смыв и линейный размыв. Все эти виды эрозионной деятельности взаимосвязаны между собой и проявляются в различных физико-географических условиях. Особенно интенсивно они протекают в горных районах, где их развитию способствуют как естественные, так и антропогенные факторы. Среди естественных факторов следует прежде всего отметить расчлененность рельефа, крутизну склонов, их экспозицию, физико-механические свойства пород, количество воды и скорость стекания ее по склонам; а среди антропогенных — усиленную рубку горных лесов, неурегулированный выпас скота и распашку склонов.

Рассмотрим различные виды эрозионной деятельности и особенности их дешифрирования на примере горных районов Заилийского Алатау.

Плоскостная эрозия наблюдается в области высокогорного альпийского и среднегорного рельефа на склонах крутизной 30—40° и является результатом механической деятельности дождевых струй. На аэроснимках она выделяется главным образом по прямым признакам дешифрирования: форме контуров, фототону и структуре аэрофотонизображения. Как правило, смывы почвенного



Рис. 35. Смывы почвенного покрова отчетливо выделяются на аэроснимках в виде небольших пятен воронкообразной формы светлого и светло-серого тонов изображения (1)

покрова образуют небольшие пятна воронкообразной формы, вытянутые вдоль склона. Тон изображения светлый или светло-серый; структура однородная или темно-пятнистая (рис. 35).

Плоскостной смыв по мере развития процесса постепенно переходит в струйчатую эрозию. Последняя наблюдается главным образом в области ступенчатых предгорий на склонах южных экспозиций крутизной $15-35^\circ$, сложенных с поверхности лёссовидными суглинками и лёссами. На аэроснимках формы струйчатого размыва имеют форму вытянутых пятен или полос, расположенных поперек склона и приуроченных, как правило, к перегибам склона или наиболее крутым его частям. Поверхность смытого участка имеет светлый и светло-серый тон изображения, обусловленный смывом гумусового горизонта и повышенной спектральной яркостью обнажившихся лёссовидных суглинков и лёссов. Структура аэрофотонизображения неясно-пятнистая. Косвенными признаками проявления струйчатой эрозии является нарушение естественного растительного покрова и наличие большого количества скотопойных троп на склонах (рис. 36).

Линейная эрозия производит в основном разрушительную работу, выраженную глубинным и боковым размывом.

Она широко развита в области ступенчатых предгорий, где распространены легкоразмываемые породы — лёссы и лёссовидные суглинки, и в меньшей степени — в области среднегорья и высокогорья, где развиты дресвяно-щебнистые грунты с суглинистым заполнителем.

Особенно хорошо здесь выражены процессы эрозионного размыва склонов временными водотоками, которые выявляются на аэроснимках по прямолинейным и зигзагообразным вытянутым линиям промоин и оврагов. Эти эрозионные формы обычно хорошо



Рис. 36. Мелкоструйчатый размыв склонов выделяется на аэроснимках по светлым полосам и пятнам с нечеткими контурами (1)

подчеркиваются светлым тоном изображения освещенных и темносерым тоном затененных участков склонов. По характеру форм эрозионной деятельности можно отчетливо выделить различные стадии эрозионного процесса.

Форма и крутизна склонов промонн у оврагов и балок может рассматриваться важным признаком состава и физико-механических свойств пород. При достаточно активном развитии эрозионных процессов склоны находятся в условиях, близких к предельному равновесию, а крутизна их зависит от состава и свойств слагающих пород. Так, например, в лёссах и лёссовидных суглинках стенки оврагов, как правило, обрывистые, близкие к вертикальным, с характерной столбчатой отделенностью. Места особенно активной эрозионной деятельности хорошо устанавливаются по наличию большого количества форм линейного размыва на склонах с нарушенным растительным покровом и в рединах леса (рис. 37).

Другой разновидностью проявления линейной эрозии является боковой размыв рек. Этот процесс развивается при изменении направления русла на участках, сложенных галечниковыми и валунно-галечниковыми отложениями. Под действием водного потока здесь происходит подмыв берегового склона, нарушение его устойчивости, что вызывает массовые береговые обвалы и расширение русла. Особенно интенсивно боковой размыв проявляется во время селевых паводков, пополняя твердую его составляющую. Ярким свидетельством этому является наличие береговых обвалов, обрушений и оползней, которые можно рассматривать как один из индикаторов деятельности селевых потоков. Участки с интенсивной боковой эрозией рек хорошо выявляются на аэроснимках по полуовальным пятнам обрушений вдоль извилистых линий речной сети. Они имеют очень светлый и светлый тон изображения и при груп-



Рис. 37. Эрозионный размыв склонов временными подтоками хорошо заметен на аэроснимках по прямолинейным и зигзагообразным линиям рытвин (1) и оврагов (2)

повом расположении, сливаясь друг с другом, образуют светлую полосу с фестончатым краем, обращенным в сторону склона (см. рис. 28).

Таким образом, дешифрирование проявлений эрозионных процессов в горных районах не вызывает существенных затруднений.

§ 7. ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

Роль растительности в процессах селеобразования различна. Она влияет как на образование и поступление твердой составляющей селей, т. е. на процессы физического и химического выветривания, процессы эрозии и т. д., так и на формирование жидкой составляющей селевых потоков, т. е. на условия поверхностного и подземного стоков, распределение атмосферных осадков, испарение и пр.

Влияние растительности на формирование твердой составляющей селей выражается в замедлении интенсивности процессов физического выветривания благодаря уменьшению температурных колебаний поверхности, поглощению части лучистой энергии растениями. Наряду с этим сказывается и скрепляющая роль корневых систем в рыхлых отложениях, что ослабляет процессы денудации. В то же время на залесенных склонах гор идет весьма интенсивный процесс разрушения скальных пород благодаря внедрению корней древесных пород и кустарников в образующиеся трещины, поэтому на склонах с зарослями арчи или еловым лесом можно наблюдать большее количество обломочного материала, чем на склонах с высокогорными лугами. Также усиливается разрушение склонов благодаря ветровалам (Лютцау, 1959). С другой стороны, растительность значительно усиливает процессы хи-

мического выветривания. Уже на стадии накипных лишайников влияние оказывается весьма существенным, что значительно усиливает разрушение скал. В дальнейшем почвообразовательные процессы убыстряют это воздействие. Кроме того, древесно-кустарниковая растительность, как считает В. И. Турманина (1967), может явиться поставщиком твердой составляющей селей, причем опасность захвата стволов деревьев усиливается в случае, когда в потоке преобладает жидкая составляющая. Нужно все же отметить, что в целом растительность замедляет поступление твердой составляющей селей, и в этом ее воздействие, несомненно, положительно.

Большое влияние оказывает почвенно-растительный покров на гидрологический режим территории, т. е. на условие формирования жидкой составляющей селевых потоков. Поверхностный сток находится в обратной зависимости от инфильтрации. Величину же последней наряду с гранулометрическим и минералогическим составом пород определяет количество гумуса в почве, а также в значительной мере растительность.

Наименьшую роль в формировании поверхностного и подземного стока играет растительность нивального пояса, поскольку здесь она представлена лишайниками и единичными экземплярами криптофильных цветковых, а почвы не развиты. В поясе альпийских лугов, где хорошо развит травяной покров, а инфильтрационные свойства почв являются вполне удовлетворительными, последние поглощают большую часть атмосферных осадков. Лесной пояс характеризуется хорошими условиями инфильтрации атмосферных осадков и талых вод. Идеальной водопоглотительной способностью обладает лесная подстилка, благодаря которой поверхностный сток здесь резко уменьшается.

Следовательно, роль растительности сводится в этих условиях к уменьшению поверхности стока и снижению интенсивности плоскостной и струйчатой эрозии.

В степном поясе поверхностный сток несколько больше, чем в лесном за счет широкого распространения лёссовидных суглинков со слабой инфильтрационной способностью.

Растительность может быть использована и как индикатор большинства факторов селеобразования. Рассмотрим подробнее характер этих связей.

Особенно наглядна связь растительности с геоморфологическими условиями в горных районах. Высотные пояса растительности, как правило, совпадают с типами горного рельефа. Так, в Заилийском Алатау к высокогорному альпийскому рельефу с современным оледенением (>3500 м) приурочены лишь накипные лишайники; к высокогорному альпийскому рельефу с реликтами древнего оледенения (2000—3500 м) — группировки подушечников, кобрезные и разнотравные альпийские криптофильные луга; к высокогорному эрозионному рельефу (2000—3000 м) — арчевники, субальпийские злаково-разнотравные луга и высокогорные степи и т. д.

Общезвестна также четкая приуроченность растительности к экспозициям склонов. Так, в лесном поясе Заилийского Алатау склоны северной экспозиции заняты лесами из тяньшаньской ели, южные — лиственными рощами и высокотравными лугами.

Несмотря на очень тесную приуроченность растительности к геоморфологическим условиям, она в данном случае может служить лишь фактором, подчеркивающим физиономические признаки рельефа и дополняющим их, поскольку геоморфологические условия дешифрируются в горных районах достаточно хорошо.

Роль растительности как индикатора состава пород коренной основы в горных районах невелика. Здесь различия в растительности, обусловленные рельефом, экспозицией склона и т. д., более физиономичны и контрастны, чем обусловленные составом пород, что ведет в ряде случаев к затруднениям при дешифрировании.

Степень выветривания пород коренной основы индицируется разными стадиями смен растительности. На обнаженных скалах поселяются вначале лишь накипные лишайники, которые впоследствии сменяются листоватыми кустистыми, а далее — мхами. Одновременно в трещинах скал укоряются единичные экземпляры пионеров — литофитов: камнеломки, эфедры, некоторые луки, смолевки, эстры и др. Эти растения усиливают химическое выветривание пород и подготавливают почву для поселения коренной растительности, характерной для данного пояса.

Растительность может быть использована для индикации ряда характеристик четвертичных отложений, важных с точки зрения факторов селеобразования. Прежде всего это состав отложений, который индицируется растительностью весьма хорошо. Это относится как к крупнообломочным отложениям, так и к отложениям более тонкого состава.

Не менее важна взаимосвязь между мощностью чехла четвертичных отложений и растительным покровом. Так, например, В. П. Голоскоков (1949) дает следующую схему распределения растительности в зависимости от мощности осыпей в субальпийском поясе Заилийского Алатау:

1. Мощные осыпи, не содержащие мелкозема, имеют растительность только в периферийной части, при переходе к мелкоземлистым травянистым склонам. Она представлена видами ив, арчой, спиреей, смородиной Мейера, видами жимолости, некоторыми видами подушечников.

2. Мало мощные осыпи (10—20 см), подстилаемые мелкоземом, покрыты арчой с участием ив, жимолостей и других кустарников, а также видами трав, свойственными скальным выходам — луками, мятликами, змееголовником и др. Думается, что при более подробных индикационных работах эту схему можно детализировать.

Таким же образом возможна индикация мощности четвертичных отложений любого генезиса. Однако в этом отношении инди-

кационные возможности растительности ограничены, ибо корневые системы большинства растений проникают не глубже 10 м. Поэтому чаще всего индикация мощности четвертичных отложений возможна не более чем на эту глубину.

Наибольший теоретический интерес представляет индикация относительного и абсолютного возраста четвертичных отложений. Определение относительного возраста базируется на том, что растительность на молодом отложившемся субстрате должна пройти определенный цикл развития от пионерных стадий через ряд промежуточных до коренной растительности, свойственной данному поясу. Поэтому, зная всю последовательность этих смен и стадию развития растительности на отдельных участках отложений одного генезиса, можно определить относительный возраст этих отложений.

Примером такого рода могут служить морены различного возраста в Чертовом ущелье (Зайлийский Алатау, бассейн р. М. Алмаатинки). Если следовать от современной морены вниз по ущелью, можно проследить все этапы развития растительности.

Современная морена совершенно лишена растительности ($gl Q_{IV}^2$) или покрыта накипными лишайниками ($gl Q_{IV}^1$). На поверхности верхнечетвертичных морен наряду с лишайниками появляются высшие растения: лапчатка кустарниковая, овсяница, арча и др. При этом проективное покрытие растительности на моренах [$gl Q_{III}^2$] составляет 10—20%, а на моренах [$gl Q_{III}^1$] — 70—80%. На последних встречаются отдельные экземпляры угнетенной ели.

Связь растительности с тектоническими условиями является косвенной и осуществляется через другие факторы ландшафта. Так, тектонические структуры выражаются в растительности через условия засоления, увлажнения и т. д., аномальные, нетипичные для данного ландшафта. Эти связи используются для обнаружения тектонических структур и дизъюнктивных тектонических нарушений.

Отражение в растительности характера неотектонических движений происходит еще более сложным путем — через изменение нормального цикла развития растительного покрова. Это явление используют для индикации новейших тектонических движений.

Растительность является индикатором современных геологических процессов. С этой точки зрения мы несколько подробнее рассмотрим растительность оползней, осыпей, лавинных желобов и селевых отложений на примере Зайлийского Алатау.

Растительность может служить индикатором интенсивности оползневых процессов, их распространения и характера, поскольку на участках, подверженных оползням, она сменяется всегда определенным образом.

Заращение осыпей зависит от скорости их движения, гранулометрического и минералогического (петрографического) состава слагающего их материала и мощности. Как уже отмечалось,

растительность чутко реагирует на эти факторы, поэтому пути смен растительности в зависимости от них будут различными. Однако можно отметить общие черты для растительности осыпей; ничтожное вначале проективное покрытие по мере зарастания увеличивается; пионерные группировки, приспособленные к грубообломочному подвижному субстрату, постепенно сменяются сообществами, близкими к коренным.

По степени проективного покрытия, а также по набору видов осыпей можно судить об их мощности, степени подвижности, гранулометрическом составе, а следовательно, и роли в селеобразовании.

Подверженность склонов лавинам определяется по наличию лавинных желобов. Для них характерно отсутствие древесной и даже кустарниковой растительности; типичными здесь являются высокотравные луговые сообщества, образованные влаголюбивыми видами. Как отмечает В. П. Голоскоков (1949), в местах скопления лавин (на их конусах выноса) увеличивается роль «альпийских эфемерондов», т. е. видов с укороченным вегетационным периодом, что может также служить показателем лавиноопасных склонов. Кроме того, при изучении лавин пользуются также морфологическими признаками растений — характер искривления ствола, характер годичных колец и т. д.

Для селевых отложений характерны особые ряды смен растительности в каждом высотном поясе. Так, например, Б. А. Быков приводит такие ряды смен на селевых отложениях в лесном поясе Заилийского Алатау. На высоте 1400—1500 м: кустарниковые заросли — редкий подрост ели, смешанный лес из ели с яблоней, боярышником и кленом; на высоте 1800—2000 м: а) кустарники и лиственные породы деревьев — появление редкого подрост ели — развитие лишайников, в) березовый лес с участием осины — появление подрост ели — развитие ельника со вторым ярусом из березы; на высоте 2400—2600 м подрост ели и одновременно ряда кустарников — развитие ельника с кустарниками в подлеске.

По нашим наблюдениям, на селевых отложениях р. Иссык 4-летнего возраста (сель 1963 г.) развились группировки пионерных трав и кустарников наряду с многочисленным самосевом ели (2—3-летнего возраста). Общее проективное покрытие в среднем 10%, местами до 20%. Из пионерных кустарников и древесных форм здесь отмечены лишь виды ив и тополь.

Видовой состав травянистых растений значительно более разнообразен: нами отмечено более 30 видов преимущественно корневищевых злаков, одно- и двухлетних бобовых и разнотравья.

Геоботанические и ландшафтные индикаторы весьма широко используются при изучении мерзлотных процессов.

Наличие многолетнемерзлых пород на небольшой глубине индицируется в горных районах сообществами, характерными для более высоких поясов. Так, в Заилийском Алатау в поясе арчевни-

ков на многолетнемерзлых грунтах развиваются группировки криофильного альпийского разнотравья или подушечников. Глубина протаивания индицируется различными растительными сообществами, а также фенологическими признаками.

Характерным для многолетнемерзлых грунтов, так же как и для лавинных конусов выноса, является значительное участие «альпийских эфемероидов», т. е. видов с коротким вегетационным периодом, позднее начинающих вегетацию и раньше ее заканчивающих.

Хорошо индицируются растительностью явления термокарста, характерные для древних морен. На фоне альпийских криофильных лугов, развитых на древней морене, в термокарстовых воронках благодаря их повышенному увлажнению развиваются большие осоковые болотца с набором гидрофильных видов, характерных для высокогорных болот и сазов.

Как уже было отмечено, растительность дает возможность установить относительный возраст тех или иных отложений, а некоторые отдельные растения (деревья, лишайники) — даже их абсолютный возраст с удовлетворительной точностью. Если определить абсолютный возраст ряда смежных молодых участков одного генезиса (например, конусов выноса), можно хотя бы приблизительно судить о периодичности процесса, т. е. о частоте повторяемости явления, послужившего причиной образования этих отложений.

В. И. Турманина (1967) определяет периодичность прохождения селей по стволам деревьев, обнаруживающих асимметричное отложение годичных колец. Результаты дендрохронологических исследований деревьев конуса Гара-Башинского селя дали ей возможность установить даты селевых паводков за последние 180 лет.

Как пример, рассмотрим ряд разновозрастных конусов выноса селевых отложений одного из притоков реки в Запильском Ала-тау (рис. 38).

1. Свежий конус выноса (селевые отложения 1966 г.). Растительность представлена единичными экземплярами однолетних злаков и разнотравья (мятлик однолетний, скерда, клевер ползучий, манжета и др.).

2. Конус выноса с группой елей Шренка ~ 27—30-летнего возраста. Их высота около 1,2—1,5 м, сомкнутость < 0,1. Мелкоземистые участки между елями задернованы травянистой растительностью (мятлик однолетний, мак альпийский, овсяница, звездчатка, эдельвейс и др.). Общее проективное покрытие этих участков около 70%.

3. Конус выноса с еловым лесом. Возраст елей оценивается приблизительно около 100 лет. Высота их 18—20 м. Сомкнутость 0,3. Общее проективное покрытие травянистого яруса 90%. Он образован перечисленными выше видами, со значительным преобладанием злаков и клевера ползучего.

4. Древний конус выноса с еловым лесом. Сомкнутость древес-

ного яруса 0,5; высота елей 20—25 м. Возраст приблизительно можно оценить в 150 лет. В травянистом покрове к перечисленным выше видам, часть из которых выпадает, добавляются некоторые виды из высокотравья (борец джунгарский, астра, дороникум, крестовик и др.), что говорит о почти полной сформированности также и травянистого яруса, характерного для этих ельников.



Рис. 38. Разновозрастные конусы выноса селевых потоков

1 — конус выноса 1965 г., лишенный растительности; 2 — конус выноса 30-летней давности с подростом ели; 3 — давний конус выноса с еловым лесом 60—100-летнего возраста; 4 — давний конус выноса с еловым лесом 200-летнего возраста

Таким образом, в данном случае благодаря тому, что ель поселяется на селевых отложениях почти сразу, по ее возрасту можно точно определить и возраст конусов выноса. Имея несколько генераций таких конусов, можно судить и о частоте повторяемости явления — периодичности прохождения селей. В данном конкретном случае мы не могли точно определить возраст деревьев, однако, грубо приблизительно можно заключить о том, что селевые потоки проходили примерно около 1820, 1870, 1940 и 1966 гг.

Растительность является также чувствительным индикатором гидрогеологических условий. Участки с выходами грунтовых вод на склонах резко подчеркиваются гигрофитной (в поясах лесном и выше) и мезофитной (в поясе степей) растительностью. Создающиеся здесь особые условия приводят к значительному сходству подобных участков в нескольких смежных поясах. Так, и в альпийском, и в субальпийском, и отчасти в лесном поясах места с выходами грунтовых вод (так называемые сазы) заняты зарослями осок, водяных мхов, мя-

лика живородящего, щучки келерлевидной, некоторых камнеломок и ряда влаголюбивых видов. В степном и лесостепном поясах участки с выходами грунтовых вод покрыты зарослями тростника, камыша, осок, хвоща болотного, солодки, ожики и др. Они особенно четко выделяются на аэрофотоснимках в конце лета на фоне выгоревшей степной растительности.

Заболоченные участки в местах с затрудненным стоком, с близким водоупором или переувлажнением благодаря условиям микро-рельефа (например, термокарстовые воронки на древних моренах) заняты гипновыми болотцами (виды зеленых мхов с участием ряда перечисленных выше видов цветковых растений).

Являясь важным индикатором различных компонентов природной обстановки, влияющих на условия селеобразования, растительный покров находит свое отображение на аэроснимках. Роль растительного покрова в создании аэрофотоизображения меняется в зависимости от высотного пояса. Если в гляциальном и нивальном поясах она ничтожна, а в альпийском уже более значительна, то в нижележащих поясах растительному покрову принадлежит ведущая роль в создании аэрофотоизображения. Поэтому при дешифрировании знание индикационных свойств растительности дает возможность получить дополнительную информацию об условиях селеобразования и других современных процессов. Однако еще больше увеличивается объем получаемой информации при комплексном подходе к дешифрированию, т. е. при учете взаимосвязанных компонентов ландшафта.

Так, например, заросли кустарников мы можем встретить и на заросшей осыпи, и на давнем оползне, и на конусе выноса селевых потоков, и в пойме реки на молодом аллювии. В каждом конкретном случае стадия кустарников занимает свое место в ряду смен растительности, что позволит каждый раз по-иному оценить возраст этих образований. То же относится, например, к еловому лесу, который на склонах северной экспозиции индицирует неглубоко залегающие скальные породы коренной основы, в долине реки в нижней части лесного пояса — верхнечетвертичные и более древние речные террасы, а на конусах выноса селевых потоков в верхних пределах лесного пояса — новейшие селевые отложения. Рассмотрим особенности дешифрирования основных типов растительности горных районов по высотным поясам. В гляциальном поясе (выше 3800—4000 м) растительность не оказывает влияния на аэрофотоизображение, ибо ее там практически нет. Ничтожно ее влияние и в нивальном поясе (выше 3500 м), где растительный покров представлен накипными лишайниками и единичными экземплярами альпийских цветковых — разнотравья и подушечников.

В альпийском поясе (3000—3500 м) роль растительности в создании аэрофотоизображения уже значительна. На аэроснимках обычно хорошо выделяются альпийские луга (кобрезиевые, манжетковые, разнотравные), которые дают интегральное аэрофотоизображение (рис. 39, а). В большинстве случаев тон изображения более темный, чем у лишенных растительности пород; непокрытые растительностью участки (скальные выходы, осыпи, крупные глыбы) выглядят более светлыми. Таким образом, рисунок аэрофотоизображения обусловлен здесь размещением растений. Как правило, на породах коренной основы он бывает более или менее однородный или полосчато-пятнистый, на древних моренах — пятнистый. Четкие светлые пятна обусловлены наличием крупных каменных глыб, более расплывчатые светлые пятна создаются осыпями, лишенными растительности, темные округлые расплывчатые пятна — термокарстовыми воронками с болотной растительностью.

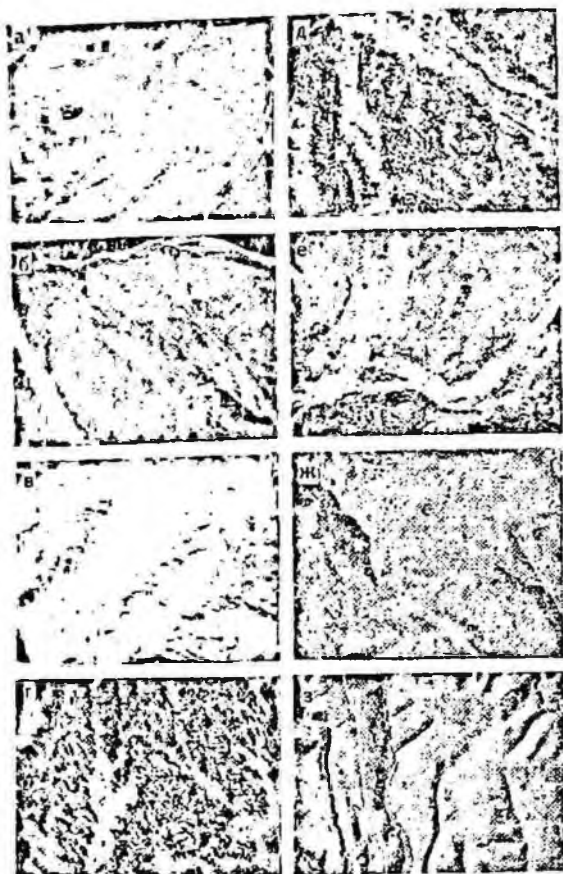


Рис. 39. Аэрофотоизображение основных типов растительности

а — альпийские луга; б — арчевники; в — высокоотравные луга лесного пояса; г — леса из тяньшаньской ели; д — яблоневые и урюковые рощи; е — тополевые и ивовые рощи; ж — заросли кустарников; з — высокоотравные и типчакково-ковыльные степи

В субальпийском поясе растительность еще более разнообразна, что создает и разнообразие в аэрофотоизображении отдельных ее типов. Так, субальпийские высокоотравные луга по аэрофотоизображению почти не отличаются от альпийских. Они дают лишь несколько более темный фототон, и рисунок более разнообразен за счет присутствия отдельных экземпляров или групп кустарников, дающих мелкое точечное изображение.

Весьма характерный рисунок дают арчевники. На относительно светлом фоне, образованном субальпийским высокоотравьем, арча образует мелкие темно-серые пятнышки, часто расположенные полосами или цепочками вдоль эрозийных ложбин или сли-

вающиеся в более крупные пятна с изрезанными краями на относительно ровных площадках. Полог арчевников несомкнутый, со значительными прогалинами в проекции, но весьма ровный по высоте, в глубину под стереоскопом не просматривается. Видимой на снимке падающей тени арча не дает. Несмотря на то, что отдельный куст арчи имеет дифференцированное изображение, рисунок ее зарослей, обусловленный размещением растений (мезотекстура, по Б. В. Виноградову, 1966), весьма характерен и легко дешифрируется (рис. 39, б).

Высокотравные дуга, расположенные на склонах южной экспозиции, как и всякая травянистая растительность, дают интегральное аэрофотонизображение. Их фототон от светло-серого до серого. Структура изображения расплывчато-пятнистая; она зависит от мозаичности ассоциаций, иногда от комплексности, от наличия осыпей, не покрытых растительностью, а также отдельных кустарников и деревьев среди высокотравья; в последнем случае на этом фоне наблюдается редкая мелкая точечность или зернистость (рис. 39, в).

Тополевые и ивовые рощи в поймах рек встречаются как в лесном, так и в лесостепном поясе. Тон изображения серый; структура неравномерная, мелкозернистая. Форма крон отдельных деревьев округлая с волнистым краем, т. е. характерная для большинства лиственных деревьев; тень округлая, неплотная. Полог чаще несомкнутый, неровный, под стереоскопом просматривается неглубоко. Поверхность земли видна лишь в изреженных древостоях. Такие рощи опознаются благодаря их расположению вдоль русел рек («ленточные» очертания) (рис. 39, е).

В лесостепном поясе основными типами растительности являются яблоневые и урюковые рощи, заросли кустарников и высокотравные степи.

Лиственные породы деревьев, как уже было отмечено, на черно-белых аэроснимках можно отличить только от хвойных; между собой они почти не различаются. Для них характерны округлые очертания кроны со слегка зубчатым краем, округлая или продолговатая неплотная тень. Общая структура аэрофотонизображения рощ лиственных среднезернистая, тон их более светлый, чем у еловых лесов (рис. 39, д).

Заросли кустарников в отличие от рощ древесных форм имеют мелкозернистую или даже точечную структуру, хотя фототон также серый. Отчетливую тень от отдельных кустов удается заметить редко и с трудом. Лишь под лупой эти точки принимают отчетливые округлые или неправильной формы очертания с волнистым краем (рис. 39, ж).

Аэрофотонизображение высокотравных и типчаково-ковыльных степей также интегральное. Фототон серый различной интенсивности в зависимости от степени освещенности склона. Пятнистость изображения зависит в основном от рельефа и степени освещенности, а также от мозаичности ассоциаций или

комплексности растительного покрова. В отличие от высокотравных и альпийских лугов, пятнистость в данном случае расплывчатая, со смягченными очертаниями и постепенными переходами от более интенсивного фототона к более бледному, что обусловлено большей однородностью почвенного и растительного покрова (рис. 39, з).

Как видно из изложенного, растительный покров в горных районах достаточно отчетливо дешифрируется по материалам аэрофотосъемки и может быть успешно использован для индикации условий селеобразования.

§ 8. ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Характер инженерно-хозяйственного освоения территории во многом зависит от местной природной обстановки: климата, рельефа, плодородия почв, геодинамических явлений. Районы с активными селевыми процессами имеют свои специфические особенности освоения, которые выражаются в соблюдении определенных мероприятий при размещении и планировке инженерных объектов и создании различного рода противоселевых сооружений. Таким образом, характер освоения территории селеопасных районов в известной мере отражает уровень знаний селевой обстановки. Насколько правильно она была учтена — может свидетельствовать последующее воздействие селевых процессов на инженерные сооружения.

Изучение по материалам аэрофотосъемки современного состояния инженерных сооружений и хозяйственных мероприятий, осуществляемых человеком, во взаимосвязи с процессом селеобразования позволяет получить представление о масштабах и интенсивности прохождения селевых потоков в изучаемом бассейне и их параметрах.

Объекты инженерно-хозяйственной деятельности человека в зависимости от их влияния на селевые процессы могут быть подразделены на две группы: активные и пассивные.

Под активными подразумеваются такие, которые возводятся для защиты тех или иных народнохозяйственных объектов от вредного воздействия селевых потоков или с целью ослабления селевой деятельности в данном бассейне. Среди них можно выделить объекты, непосредственно воздействующие на селевой процесс, и объекты, которые оказывают косвенное влияние на него. Подобное деление основано на многообразии видов инженерно-хозяйственной деятельности человека и связанным с этим разнообразием антропогенных процессов, их количественных и качественных характеристик. Иллюстрацией этого может служить табл. 5, где показана роль антропогенных факторов в процессе селеобразования.

К объектам, непосредственно воздействующим на селевой процесс, относятся различные противоселевые сооружения: селеотбой-

Роль антропогенных факторов в процессе селеобразования

Инженерно-хозяйственные объекты	Влияние антропогенных факторов на возможность проявления и развития селевых процессов	Общая оценка
	положительное	отрицательное
Противоселевые сооружения	Прерывают, ослабляют и контролируют протекание селевых процессов, препятствуют разрушающей и коррозийной деятельности селевых потоков	Временная задержка селевых масс (результат низких технико-экономических параметров сооружения) способствует накоплению массы селевого потока и увеличению его энергии
Транспортная сеть (шоссейные и грунтовые дороги, трубопроводы)	Повышает устойчивость склонов и способствует затуханию процессов эрозии, гравитации, выветривания и селевых процессов за счет регулирования поверхностного стока, устройства подпорных стенок, искусственных покрытий и дренажа	Ослабляют устойчивость склонов за счет уничтожения растительного покрова, подрезки и нагромождения склонов, динамического воздействия, нарушения структуры и перемещения пород при строительстве
Сельскохозяйственные объекты	Повышает устойчивость склонов и способствует затуханию селевых процессов за счет общего nivelирования рельефа, террасирования склонов, посадки культурной растительности и проведения противозонных мероприятий	Ослабляют устойчивость склонов за счет неправильной распашки и обработки почвы, ведущей к нарушению их структуры, выпаса скота, вырубки лесов



Рис. 40. Противоселевая набросная гравитационная плотина (1)



Рис. 41. Каркасный селеуловитель (1)

ные (селеотбойники, селерезы, обвалование); селезадерживающие (подпорные запруды, наносоуловители); селеотводящие и селенаправляющие (селеделители, направляющие стенки, отводящие каналы); селепропускные (мосты, селеспуски, лотки, туннели, трубы); руслоукрепляющие (берегоукрепительные стенки, отмостки дна); руслоуполаживающие (подпорные селевые запруды) и т. п.

Все эти объекты достаточно хорошо дешифрируются на аэроснимках масштабов 1:10 000—1:15 000. Основными дешифровочными признаками их являются: местоположение, правильная геометрическая форма, собственная и падающая тени (рис. 40, 41). Так, например, селезадерживающая набросная гравитационная плотина, перегораживающая русло реки, выделяется на аэроснимке в виде четкой светлой вогнутой линии и плотной темно-серой тени. Важным признаком служат задержанные плотиной селевые



Рис. 42. Участок дороги, на котором подрезка склона вызвала локальную активизацию процесса осыпания. Каменный материал, сброшенный вниз, образовал «антропогенную» осыпь (1)



Рис. 43. Участок, на котором полотно дороги было разрушено и снесено селевым потоком

накопления, которые имеют неоднородный светлый и светло-серый тон изображения и неотчетливо струйчатый рисунок (см. рис. 40).

Также достаточно хорошо дешифрируются и селепропускные сооружения — мосты, трубы, лотки, предназначенные для транзитного пропуска селевых потоков и защиты от них дорог, плотин и других объектов.

В ряде случаев на основе полученных характеристик конструкций сооружений (мосты, дамбы) и имеющихся данных о прошедших селевых потоках в изучаемом бассейне можно с известной мерой приближения рассчитать возможные пределы величины ударной силы селевой волны, воздействующей на сооружения.

К косвенно влияющим на селевые процессы относятся объекты или хозяйственные мероприятия (лесопосадки, распашка и выполаживание склонов, подпорные стенки и т. п.), способствующие ослаблению или усилению отдельных факторов селеобразования — развитию эрозии, осыпных процессов, оползней и т. д.

Вырубка лесов, распашка склонов, выпас скота оказывают

весьма существенное влияние на развитие таких экзогенных процессов, как плоскостной смыв, глубинная эрозия, оплывание, оползание и обрушение склонов, которые в конечном счете усиливают селевую деятельность бассейна. Особенно хорошо это видно в зоне низкогорья в области прилавков, сложенных с поверхности лёссовидными породами, где интенсивная распашка склонов усиливает эрозионную деятельность.

Инженерно-хозяйственные мероприятия, проводимые без комплексного учета природной обстановки, могут привести к нежелательным результатам. Это можно иллюстрировать многочисленными примерами. Так, прокладка необлицованного канала на склоне в суглинистых грунтах послужила причиной такого процесса, как оплывание, а уничтожение дернового покрова и почвы по крутосклонным водосборным воронкам способствовало возникновению сая.

Известное влияние на развитие экзогенных процессов оказывает дорожное строительство. При прокладке дорог в горных районах подрезка склонов может активизировать движение осыпей, такие участки обычно хорошо выделяются на аэроснимке (рис. 42), а строительство подпорных стенок и террасирование склонов — приостановить их дальнейшее развитие. Проявление неблагоприятных экзогенных процессов может нарушить дальнейшую эксплуатацию дорог (рис. 43).

Под пассивными объектами понимаются такие, на расположение и планировку которых могут оказать влияние селевые потоки, но сами объекты никакого воздействия на селевой процесс не оказывают (городское строительство, промышленные предприятия, отдельные строения и т. п.).

При дешифрировании следует обратить внимание на безопасность этих объектов от воздействия таких природных явлений, как сели и связанные с ними процессы: оползни, обвалы и лавины. Решение этого вопроса требует детального анализа окружающей природной обстановки. При этом должны быть выявлены участки, опасные для строительства, если же строительство в их пределах и ведется, то необходимо осуществление специальных защитных мероприятий. Так, например, строительство поселка или линейных объектов на селевых накоплениях может привести к катастрофическим последствиям.

Из признаков хозяйственного освоения территории следует упомянуть также наличие специальных предприятий — кирпичных заводов, камнедробилок, карьеров и т. п., которые при дешифрировании могут указать на состав и характер разрабатываемых пород.

В заключение следует отметить, что весьма перспективно использование материалов аэрофотосъемки и для установления состояния существующих противоселевых сооружений. Для этой цели желательно иметь перспективные и плановые аэроснимки более крупного масштаба (1:2000 — 1:5000).

С помощью таких аэроснимков можно сделать подробные опи-

сания сооружений. Периодическое повторное аэрофотографирование позволит судить о характере воздействия селей на эти сооружения, о эффективности противоселевых мероприятий.

ГЛАВА IV

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ОЧАГОВ ЗАРОЖДЕНИЯ, УЧАСТКОВ ТРАНЗИТА И АККУМУЛЯЦИИ СЕЛЕЙ

Дешифрирование селей представляет сложный логический процесс, основанный на всестороннем изучении и анализе природных факторов образования и форм проявления селевых явлений. Для выявления общих закономерностей формирования селей по аэроснимкам необходима некоторая объективная схематизация реальной природной обстановки и создание классификации селевых очагов, отражающей взаимодействие различных факторов селеобразования и морфологических особенностей территории.

Селевым очагом принято называть водосборный бассейн или его часть, где происходит накопление рыхлообломочного материала и формирование селевого потока. Классификация селевых очагов имеет большое практическое значение, поскольку прогноз селеопасности и мероприятия по борьбе с селями должны учитывать происхождение очагов зарождения селей.

Нами сделана попытка построения классификационной схемы (табл. 6), в основу которой положены морфогенетический и типо-

Таблица 6

Структурная схема выделения селевых очагов по аэроснимкам

Селевые очаги	Приемы выделения	Признаки выделения селевых очагов по аэроснимкам
1	2	3
Класс Гляциальные (I), ливневые (II) очаги	Объединяет очаги по характеру формирования жидкой фазы	Высотные пояса. Границы снеговой линии (сезонный и постоянный), Закономерности распространения растительности
Группа Очаги в ледниковых (1), водно-ледниковых (2), гравитационных (3) и пр. отложениях	Дополнительно учитывает состав и характер твердой составляющей селей	Геолого - генетические комплексы отложений, литологический состав пород
Тип Оползневые (А), эрозийные (Б), обвальные (В), осыпные (Г) и пр.	Дополнительно учитывает роль современных геологических процессов, обуславливающих характер сдвига твердой составляющей селей	Типы современных геологических процессов и формы рельефа, связанные с ними

логический принципы, позволяющие последовательно учесть ряд важнейших факторов, определяющих формирование твердой и жидкой фазы селевых потоков, характер первоначального сдвижения рыхлого материала и особенности движения сформировавшихся селей.

Важнейшим фактором, определяющим формирование селевых очагов, являются гидрометеорологические условия. Ливневые дожди и интенсивное таяние ледников и снежников способствуют увеличению расходов горных водотоков и формированию жидкой составляющей селей. Поэтому по характеру формирования жидкой составляющей природные селевые очаги могут быть подразделены на два класса: очаги гляциального питания, связанные с интенсивным таянием ледников и снежников, и очаги ливневого питания, связанные с дождями.

Вторым по значению фактором, определяющим формирование селевых очагов, является наличие рыхлого обломочного материала, который может быть вовлечен в селевой поток, образуя его твердую составляющую. Учитывая дополнительно этот фактор, можно выделить группы селевых очагов, приуроченные к различным геолого-генетическим типам и комплексам отложений или закономерным их сочетаниям. Иначе говоря, можно выделить селевые очаги в ледниковых, водно-ледниковых, гравитационных отложениях и т. п.

Немаловажную роль в формировании селевых очагов играют современные геологические процессы, которые обуславливают характер первоначального сдвижения твердой составляющей селевых потоков. Учет этого фактора позволяет дополнительно выделить типы селевых очагов. Поэтому можно говорить о выделении оползневых, эрозийных, осыпных и других типов таких очагов.

Известное значение в селеобразовании имеет соотношение твердой и жидкой составляющей, а также гранулометрический и минералогический состав фракций твердого материала селевого потока. Дополнительный учет этих факторов дает возможность выделить виды и разновидности селевых очагов, различающиеся между собой по формированию селевых потоков с различным характером движения и насыщенностью твердым материалом. Исходя из этого, можно говорить о видах селевых очагов, формирующих грязевые, грязе-каменные, водо-каменные, водо-песчаные, а также связанные или несвязанные селевые потоки.

Предложенная нами схема может явиться хорошей основой для дешифрирования условий селеобразования. В процессе дешифрирования селей проводится тщательный комплексный анализ всех природных факторов развития и форм проявления селей по аэроснимкам. Этот анализ осуществляется по элементарным бассейнам с выделением основных элементов селевой системы: очагов зарождения, участков транзита и аккумуляции селей, которые достаточно легко могут быть опознаны на аэроснимках по своим морфологиче-

ским особенностям. Первоначально на мелкомасштабных фотосхемах производится выделение элементарных бассейнов и предварительное районирование территории с выделением высотных поясов, типов рельефа, границ снеговой линии. Этот уровень дешифровочных операций базируется главным образом на анализе форм рельефа и растительности по материалам аэрофотосъемки и позволяет охарактеризовать условия формирования жидкой составляющей селей и выделить очаги гляциального и ливневого происхождения. Далее в пределах выделенных элементарных бассейнов на основе стереоскопического изучения аэроснимков осуществляется выделение и пространственное ограничение геолого-генетических комплексов, определяется состав пород, а также устанавливаются типы современных геологических процессов. Практически эта операция производится на основе комплексного геолого-геоморфологического дешифрирования и позволяет установить различные группы и типы селевых очагов.

Наконец, на заключительном этапе производится детальное дешифрирование с применением стереоизмерений. На основе общегеологического анализа устанавливается состав рыхлого материала. Измеряются по аэроснимкам площади водосбора, определяются приближенные значения гидравлических параметров, необходимых для расчета стокообразования, подсчитываются объемы масс рыхлого материала, изучаются морфологические особенности селевых русел и конусов выноса и т. п. Совместный учет этих факторов и анализ метеорологических данных о количестве возможных атмосферных осадков позволяет сделать предварительный прогноз формирования селевых потоков.

На основе рассмотренных принципов нами была произведена типизация селевых очагов горных районов Заилийского Алатау и установлены дешифровочные признаки, позволяющие достаточно достоверно выявить их на черно-белых панхроматических аэроснимках масштаба 1:15 000 — 1:20 000. Рассмотрим ниже особенности дешифрирования селевых очагов Заилийского Алатау.

1. Термокарстово-аэрозионно-оползневые очаги ледникового питания преимущественно современных и верхнечетвертичных моренных отложений встречаются в области высокогорного альпийского рельефа с современным оледенением, а также с реликтами древнего оледенения. Приурочены к крупным каровым понижениям, циркам и троговым долинам. Выделяются по полосчато-пятнистому рисунку вытянутой языковой формы серого и светло-серого тонов аэрофотонизображения морены, примыкающей к извилистой линии темного тона русла реки и временного водотока. Поверхность морены неровная, бугристая, местами холмистая или грядовая с многочисленными понижениями, ложбинами, воронками неправильной формы, подпруженными и термокарстовыми озерами темного тона (рис. 44). На уступах морены свежие эрозионные врезы выделяются по ве-

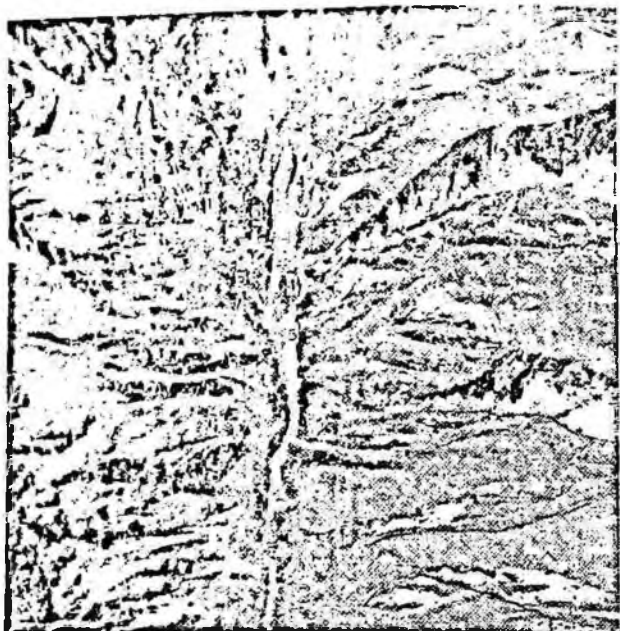


Рис. 44. Термокарстово-эрозионно-оползневой селевой очаг ледникового питания, приуроченный к современным и верхнечетвертичным моренам

1 — ледниковое озеро; 2 — термокарстовые воронки; 3 — оползни в устье морены; 4 — эрозионные врезы; 5 — участок русла с селевыми отложениями

ерообразным полосам светлого тона, а обрушения и оползания моренного материала по циркообразным светлым пятнам.

2. Эрозионно-оползневые очаги ливневого питания преимущественно в древних флювиогляциальных отложениях встречаются в областях высокогорного альпийского и высокогорно-эрозионного рельефа. Приурочены к флювиогляциальным террасам. Выделяются по узкой полосе с фестончатым рисунком очень светлого тона оползней и эрозионных врезов, прилегающих к извилистой темной линии постоянного водотока (рис. 45).

3. Эрозионно-осыпные очаги ливневого питания, преимущественно в гравитационных отложениях встречаются в области высокогорного альпийского и высокогорно-эрозионного рельефа. Приурочены к сильно разрушенным древним циркам и осыпным склонам в боковых притоках основной реки. Выделяются по сложному рисунку точечной зернистой структуры осыпей светло-серого и серого тонов в сочетании с параллельно-перистым рисунком многочисленных эрозионно-лавиновых врезов светлого тона. Вершины эрозионных врезов имеют остроугольную форму в плане и V-образный поперечный профиль (рис. 46).

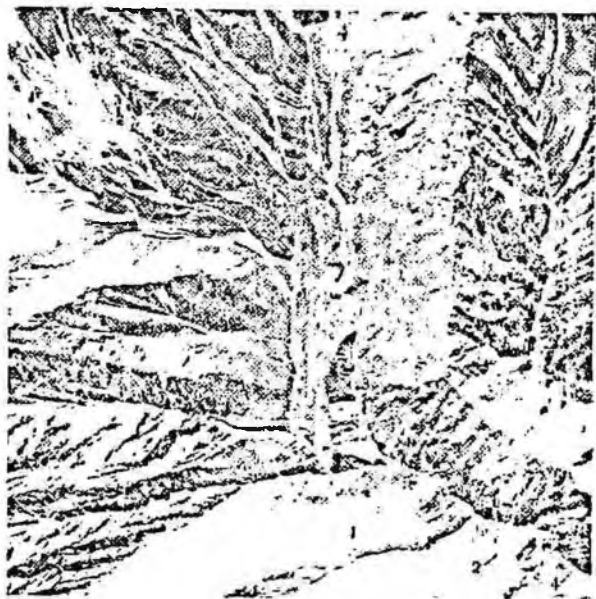


Рис. 45. Эрозионно-оползневой очаг ливневого питания, приуроченный к флювиогляциальным отложениям
 1 — древняя флювиогляциальная терраса; 2 — оползень срыва;
 3 — эрозионные промоины и овраги; 4 — селевое русло

4. Эрозионные очаги ливневого питания в делювиальных, делювиально-гравитационных отложениях встречаются в области среднегорно-эрозионного рельефа. Приурочены ко всей площади водосборного бассейна. Выделяются участки с интенсивной эрозионной деятельностью — плоскостного смыва по большим пятнам и полосам светлого и серого тонов, приуроченным к перегибам склона или наиболее крутым его частям, и линейной эрозии по характерным формам промоины и оврагов в виде четких тонких линий светлого тона (рис. 47).

5. Овально-эрозионные и оползневые очаги ливневого питания в лёссах и лёсовидных суглинках встречаются в предгорье. Имеют линейную приуроченность к зонам крупных тектонических нарушений. Выделяются по циркуобразной, глетчеровидно-дендритовидной и площадной форме многочисленных оползней преимущественно светло-серого и серого тонов и радиально-струйчатому рисунку эрозионной сети (рис. 48).

Рассмотрим особенности дешифрирования участков транзита и



Рис. 46. Эрозионно-осыпной очаг ливневого питания в гра-
витационных отложениях

1— сильно разрушенный древний цирк; 2— осыпной склон;
3— эрозионные впадины; 4— лотки и русла селевых потоков; 5— ко-
нусы выноса селевых потоков

аккумуляции селей. Участки транзита селевых потоков расположе-
ны ниже селевых очагов и дешифрируются по характерным селе-
вым лоткам и руслам. На аэроснимках селевые лотки обычно вы-
деляются по четкой полосе или серии полос очень светлого тона
точечной структуры, чередующейся с более темными полосами
(см. рис. 46). При стереоскопическом рассмотрении светлые по-
лосы представляют собой корытообразные лотки, врезанные в скло-
ны или дно долины. Ширина их обычно превышает глубину. Лоток
имеет плоское дно, крутые почти отвесные борта с четкой бровкой.
По краям лотка отчетливо видны небольшие боковые валы выпир-
ания высотой до 1—3 м. Дно лотка и его склоны сложены валун-
но-галечниковыми накоплениями.

Селевые русла отчетливо выделяются на аэроснимках по на-
личию береговых обрушений, ниш, подмыва, участков селевых на-
коплений и валов, расположенных вдоль русла.

Участки аккумуляции селевых потоков представляют собой ко-
нусы выноса или пролювиальные поля в долинах селеносных рек.
Такие участки бывают приурочены к местам впадения мелких при-
токов в крупную речную долину, а также к местам расширения
долин с выположенным продольным профилем.

На аэроснимках можно довольно легко отдешифровать кон-



Рис. 47. Эрозионные очаги ливневого питания. Участки интенсивного плоскостного смыва (1) и линейной эрозии (2)



Рис. 48. Обвалыто-эрозионные (1) и оползневые очаги (2) ливневого питания в лёссовых породах

туры свежих селевых отложений по их своеобразному веерообразно расходящемуся рисунку светлого и светло-серого тонов, образованному сетью переплетающихся временных русел и валов (см. рис. 38). Ниже конуса не наблюдается постоянного тальвега. Конусы выноса давних селей обычно покрыты кустарниковой и древесной растительностью и отличаются по более темному тону изображения.

ГЛАВА V

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТНОЙ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЛЕЙ

В последние годы в практику различных видов картирования и изучения природных ресурсов успешно внедряется цветная спектрально-зональная аэрофотосъемка. Существенное преимущество последней заключается в повышении информационной возможности дешифрирования природных объектов за счет использования их цветовых характеристик на аэроснимках. Эксперименты показывают, что человеческий глаз может различать несравненно большее число цветовых оттенков, чем тонов серого цвета, и поэтому объекты в цветовом изображении дешифрируются значительно лучше, чем в черно-белом. Это подтверждается работами по использованию цветной и спектрально-зональной аэрофотосъемки для геологических исследований (Петрусевич, Казик, 1955; Брюханов, 1962 и др.; Зайцев, Мухина, 1966), инженерно-геологического картирования (Онучин, 1962; Валях, Кригер, 1964), изучения лесов (Березин, Харин, 1962; Самойлович, 1962), топографических целей (Гольдман, 1960; Господинов, 1961 и др.). Однако все эти исследования не касались изучения условий селеобразования. Поэтому ответить на вопрос об оптимальных типах аэропленок для изучения селей, основываясь на опыте предыдущих исследований, весьма затруднительно. Это усугубляется еще и тем, что формирование селевых потоков зависит от большого числа природных факторов и происходит в различных высотных поясах с весьма разнообразной природной обстановкой. Идеальным было бы использование различных типов пленок в зависимости от природных условий того или иного высотного пояса. Так, например, основываясь на полученных ранее данных, можно предполагать, что для гляциального пояса горных районов цветные аэроснимки с трехслойной аэропленки ЦН-1, ЦН-3 будут иметь явное преимущество перед другими.

Для изучения условий селеобразования в альпийском высокогорном поясе, который обычно отличается хорошей обнаженностью горных пород, оптимальными являются аэроснимки, полученные с пленок ЦН-1, ЦН-3 и СН-5. Для лесного, лесостепного и степного поясов, отличающихся слабой обнаженностью и мощным

развитием растительного покрова, можно было бы рекомендовать пленку СН-23, а возможно, и СН-2М. Однако на практике неудобно производить аэрофотосъемку на разные типы пленок для каждого высотного пояса, поэтому необходимо выбрать один тип пленки, наиболее пригодный для всех перечисленных условий.

Для решения этой задачи нами проведено сравнительное дешифрирование аэроснимков масштаба 1:15 000 — 1:30 000, полученных с пленок СН-4, СН-5, СН-23, и обычной черно-белой пленки панхром тип 10. Аэрофотосъемка на указанные типы пленок осуществлялась при одинаковых условиях фотографирования двумя аэрофотоаппаратами АФА-ТЭ-200, установленными на одном самолете. Выборочные маршруты были проложены с таким расчетом, чтобы охватить разнообразие природных условий селеобразования в различных высотных поясах и типах рельефа.

Эффективность применения цветных спектрозональных аэроснимков по сравнению с обычными черно-белыми аэроснимками проанализирована на основе определения дешифрируемости различных условий селеобразования. Результаты такого сравнения приведены в табл. 7. Из анализа полученного материала видно, что по характеру отражения условий селеобразования на аэроснимках все геолого-географические объекты могут быть условно подразделены на три группы.

1. Объекты, дешифрирование которых производится главным образом по геометрическим признакам (форме, размерам, структуре и рисунку изображения).

2. Объекты, выявляемые на аэроснимках преимущественно на основе непосредственной их цветопередачи.

3. Объекты, дешифрируемые на аэроснимках с помощью косвенных признаков, главным образом геоботанических.

Объекты первой группы одинаково хорошо дешифрируются как на черно-белых, так и спектрозональных аэроснимках, полученных с различных типов пленок (СН-4, СН-5, СН-23).

Таковы типы и формы рельефа, гидрогеографическая сеть, границы снеговой линии, растения, дающие дифференцированное специфическое изображение (например, ель). Это также относится к дизъюнктивным тектоническим нарушениям, которые в горных условиях в отличие от равнинных большей частью не подчеркиваются растительностью, а проявляются на аэроснимках непосредственно.

Вторую группу составляют породы коренной основы, которые обнажены на поверхности и отображаются на аэроснимках тонами и оттенками, достаточными для различения контрастов.

Достоверность дешифрирования коренных пород при использовании спектрозональных аэропленок СН-23 и СН-5 по сравнению с черно-белым возрастает незначительно. Это касается главным образом тех высотных поясов, которые имеют хорошую обнаженность коренных пород, т. е. прежде всего альпийского и субальпийского. Из-за плохой обнаженности в лесостепном и степном поясах дешифрирование коренных пород как на спектрозональных, так и на

Таблица 7

Дешифрируемость факторов селсобразования по цветным спектрональным аэроснимкам по сравнению с панхроматическими

Факторы селсобразования	Аэропленки		
	СН-23	СН-5	СН-4
1	2	3	4
Геоморфологические условия: а) типы и формы рельефа; б) микрорельеф	Имеют некоторые преимущества в случаях наличия растительного покрова. Отрицательные формы микро-рельефа, связанные с избыточным увлажнением, дешифрируются несколько лучше		
Гидрографическая сеть Границы снеговой линии	Позволяют гораздо четче отбить линии берегов Хуже передаются гидрологические параметры водотоков (глубина водоемов, мели), обладают преимуществом по сравнению с панхроматическими за счет повышения цветовых контрастов		
Породы коренной основы: а) литологический состав коренных пород; б) степень выветривания	Имеют преимущества за счет лучшего дешифрирования геоботанических индикаторов		
Четвертичные отложения: а) геолого-генетический комплекс; б) литологический состав	Имеют некоторые преимущества перед панхроматическими в части разделения комплексов разного генезиса даже при близком литологическом составе Достоверность дешифрирования возрастает значительно за счет более уверенного опознания растительных индикаторов		
Гидрогеологические условия: а) непосредственное отражение повышенного увлажнения поверхности за счет выхода грунтовых вод или застояния атмосферных осадков; б) отражение гидрогеологических условий	Достоверность дешифрирования возрастает за счет использования растительных индикаторов Достоверность дешифрирования несколько возрастает за счет использования растительных индикаторов Дешифрируются несколько отчетливее Имеет значительные преимущества Имеет значительные преимущества		
	Имеет некоторые преимущества за счет лучшей передачи гидрологических параметров Достоверность дешифрирования возрастает по сравнению с панхроматическими не имеет Преимущества незначительны Преимущества не имеет Особых преимуществ не имеет Преимущества по сравнению с		

Факторы селеобразования	Аэропленки		
	СН-23	СН-5	СН-4
1	2	3	4
ских условий в растительном покрове			панхроматическими не имеет
Современные геологические процессы:	Гранулометрический состав, мощность и степень подвижности осыпей дешифрируются значительно отчетливее за счет использования растительности индикаторов	Некоторые преимущества за счет использования растительных индикаторов	Дает некоторые преимущества по сравнению с панхроматическими за счет цветопередачи объектов
а) осыпи			
б) лавины	Особых преимуществ по сравнению с панхроматическими нет		
в) сели	Возраст селевых отложений и периодичность селевых потоков дешифрируются значительно отчетливее за счет использования растительных индикаторов	Некоторые преимущества за счет использования растительного индикатора	Преимущества не имеет
г) термокарст, солифлюкция	Дешифрируются несколько отчетливее за счет использования растительных индикаторов	Некоторые преимущества за счет использования растительных индикаторов	Преимущества по сравнению с панхроматическими незначительны

черно-белых аэроснимках затруднено. Еще менее эффективно в этом отношении применение пленки СН-4.

Гидрогеологические условия, в частности выходы родников и повышенное увлажнение поверхности за счет заставания атмосферных осадков, дешифрируются на спектрзональных снимках СН-23, СН-5 несколько отчетливее, чем на черно-белых, если иметь в виду прямое влияние более сильно увлажненной поверхности на аэрофотоизображение. В большинстве случаев эти участки покрыты гидрофильной гигрофильной растительностью, отличной от фоновой, которая значительно лучше дешифрируется на аэроснимках, полученных с пленки СН-23.

К третьей группе относятся объекты, дешифрирование которых производится на основе использования растительных индикаторов, обуславливающих и особенности их аэрофотоизображения. Это относится к степени выветривания пород коренной основы, упомянутым уже гидрогеологическим условиям, литологическому составу

(в основном четвертичных отложений), относительному возрасту молодых четвертичных образований, а также к формам проявления современных геологических процессов: оползни, осыпи, сели, термокарст, солифлюкция и т. д. Для дешифрирования этих факторов особенно пригодными оказались аэроснимки с пленки СН-23; пленка СН-5 обнаруживает несколько меньшее преимущество по сравнению с первой. На аэроснимках с пленки СН-23 особенно отчетливо прослеживается стадия смен растительного покрова по мере зарастания свежих субстратов, что особенно важно для суждения об их относительном возрасте, о периодичности тех или иных процессов и т. д.

Например, аэроснимки со спектрзональной пленки СН-23 позволили выделить пять различных стадий смен растительности и столько же возрастных ступеней конусов выноса оползня в бассейне р. Аксай, в то время как на панхроматических аэроснимках можно было выделить всего три возрастные градации.

Цвет помогает отделить здесь, с одной стороны, еловый лес на селевых отложениях от елового леса на коренных породах, а, с другой, — расчленил участки с еловым лесом разного возраста, что невозможно сделать по черно-белым аэроснимкам.

В результате сравнительного дешифрирования спектрзональных и черно-белых аэроснимков мы пришли к следующему заключению. В настоящее время черно-белые панхроматические аэроснимки, обладающие большой разрешающей способностью, дают возможность изучать все основные факторы селеобразования с полнотой и подробностью, достаточной для обзорных исследований мелко- и среднемасштабного картирования. Поэтому на всю территорию съемки целесообразно иметь панхроматические аэроснимки. Применение спектрзональной аэрофотосъемки следует рекомендовать лишь для специальных целей и детального изучения отдельных ключевых участков, когда требуется подробное изучение возраста молодых образований, периодичности тех или иных современных геологических процессов и т. д.

Из рассмотренных типов спектрзональных аэропленок пленка СН-23 имеет несомненные преимущества при дешифрировании условий селеобразования. Эта пленка позволяет более уверенно отделить минеральные объекты от растительных и разделить последние. Мы считаем возможным рекомендовать ее для указанных целей, несмотря на то, что на ней плохо прорабатываются детали в затененных местах. Меньший эффект дают аэроснимки с пленки СН-5, хотя и на них растительность дешифрируется несколько лучше, чем на чернобелых панхроматических. Пленка СН-4 имеет некоторые незначительные преимущества лишь при дешифрировании тех геологических условий, которые имеют непосредственное отражение на аэроснимках.

Следует учитывать, что при обычной схеме аэрофотографирования стоимость цветной спектрзональной аэрофотосъемки выше, чем черно-белой. Для сокращения затрат на изготовление цветной

печати можно делать, как это рекомендует В. Н. Брюханов, цветные отпечатки через один, используя второй снимок стереопары черно-белой (цветовосприятие при этом изменяется незначительно).

ГЛАВА VI

НЕКОТОРЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ СЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Применение материалов аэрофотосъемки позволяет изучать природные условия селеобразования не только с качественной стороны, но и получить ряд количественных характеристик природных объектов, которые в значительной степени уточняют и дополняют различные стороны изучаемого процесса. Это дает возможность собрать массовый статистический материал по количественным показателям в камеральных условиях и в ряде случаев избежать трудоемких и дорогостоящих наземных наблюдений. Точность и детальность измерений по аэроснимкам вполне отвечает требованиям мелкого и среднемасштабного инженерно-геологического картирования.

Изучение гидрологических условий селеобразования связано с необходимостью определения ряда количественных показателей: площади водосборного бассейна, густоты гидрографической сети, ширины, извилистости и средних уклонов русла. Это относится также и к изучению форм рельефа и их морфометрических характеристик — относительных высот, крутизны склонов и пр. Для определения степени влияния растительности на формирование жидкой и твердой составляющих селей могут быть использованы такие показатели, как соотношение площадей, занятых различными растительными ассоциациями, процент залесенности территории, сомкнутость растительного покрова и т. д.

О степени активности селевых потоков можно судить по линейной или площадной пораженности бассейна современными геологическими процессами. В качестве показателя П. П. Херхулидзе предлагает использовать степень пораженности бассейна современными геологическими процессами (K_{II}), определяемую как отношение площади селеобразующих очагов к площади всего бассейна. По этому признаку он выделяет пять типов бассейнов: весьма сильно эродированные — $K_{II} = 0,2—0,4$; сильно эродированные — $K_{II} = 0,1—0,2$; среднеэродированные — $K_{II} = 0,05—0,08$; слабо эродированные — $K_{II} = 0,03—0,05$ и весьма слабо эродированные — $K_{II} = 0,01—0,03$. Значение этого показателя легко может быть получено на основе дешифрирования аэроснимков.

Количественные характеристики, получаемые с аэроснимков, могут быть также использованы для оценки устойчивости склонов,

откосов и прогноза оползневых явлений. При этом может быть применена методика Е. П. Емельяновой (1959, б), основанная на статистической обработке материалов и построении графиков зависимости крутизны оползневых склонов от их высоты и роз оползней.

Особенно эффективно применение измерительного дешифрирования для анализа динамики развития современных геологических процессов по материалам аэрофотосъемки.

Фиксируемые изменения при этом относятся не к отдельным створам, как это имеет место при наземных исследованиях, а ко всей площади проявления того или иного процесса.

Для получения количественных данных могут быть использованы два способа: сравнение материалов аэрофотосъемки прошлых лет с натурными измерениями на местности; сопоставление аэроснимков разновременных залетов (рис. 49, 50).

В первом случае тщательно дешифрируются объекты, которые отражают состояние какого-либо процесса на момент съемки, а затем путем наземных измерений выявляются изменения, происшедшие с момента аэрофотографирования до момента полевых наблюдений. Измерения производят от опорных точек, которые сохраняют постоянное положение, хорошо различаются на аэроснимках и видны на местности. Разница в расстояниях от опорных точек до изучаемого объекта или его отдельных элементов, полученных по аэроснимкам и на местности, характеризует величину происшедших изменений.

Во втором случае одни и те же формы проявления современных геологических процессов изучаются по аэроснимкам дважды или большее количество раз в зависимости от многократности аэрофотосъемки одной и той же территории. Изменения фиксируются с помощью графических или аналитических методов измерений по аэроснимкам. При этом полевые наблюдения могут и не проводиться. На такой же основе можно производить и определения объемов сместившихся масс оползней, обвалов, селей и пр.

Точность и достоверность получения количественных характеристик по материалам аэрофотосъемки зависит от масштаба аэроснимков, размеров и характера фиксируемых объектов, используемых приборов и методики измерений. Все эти факторы тесно связаны между собой. Опыт работ по дешифрированию условий селеобразования показал, что аэроснимки масштаба 1:10 000—1:20 000 обеспечивают получение количественных характеристик изучаемых объектов. По аэроснимкам были получены данные о площадях водосборных бассейнов, густоте гидрографической сети, ширине и уклонах русла, залесенности территории и пораженности ее различными современными геологическими процессами и т. д. В частности, была произведена количественная оценка характерных особенностей осыпей по материалам аэрофотосъемки для уточнения корреляционных зависимостей между занимаемой площадью и формой осыпей, с одной стороны, и подстилающими породами, био-

климатическими особенностями, типами рельефа и пространственной ориентировкой, — с другой.

Накопление статистического материала позволит выявить новые корреляционные связи, а также уточнить и дополнить старые. На основе этого метода можно перейти от статистических диагностических классификаций к более строгим.

Интересные данные получены нами о динамике термокарстовых процессов на современных моренах по материалам повторных аэрофотосъемок. Сравнительное измерительное дешифрирование аэроснимков проведенных залетов по участку ледников показало, что наряду с резким увеличением размеров термокарстовых форм появляются новые термокарстовые воронки, что свидетельствует об интенсивности процессов термокарста в теле морены и возможностях селеобразования за счет нарушения устойчивости моренного материала (см. рис. 49). Так, например, средние линейные размеры термокарстовой воронки боковой морены ледника Игль-Туксу увеличились за 12 лет с 62 до 115 м, т. е. ежегодный прирост составил 4,4 м. Измерения площадных размеров и глубины образовавшихся двух новых термокарстовых воронок позволили приблизительно судить об объеме вытаявшего льда в теле морены, который составил около 65 тыс. м³.

Особенно показательны результаты по анализу зоны действия потока иссыкского селя 1963 г. и подсчета объемов сместившегося рыхлого материала на участке руч. Жарсай — оз. Иссык, проведенных на основании измерительного дешифрирования разновременных аэроснимков и дополненных полевыми наблюдениями.

Сравнительное дешифрирование аэроснимков позволило четко выделить и оконтурить участки зарождения, размыва и аккумуля-



Рис. 49. Развитие термокарстового процесса отчетливо устанавливается по аэроснимкам разных залетов. Наряду с изменением термокарстовых форм рельефа, существовавшего до 1955 г. (а, 1), к 1964 г. (б) образовались две новые термокарстовые воронки (2, 3)

пил селевого материала, а также определить объемы масс рыхлого материала на различных створах.

Участок селеобразования выражен крупным эрозионно-оползневым врезом на уступе морены верхнечетвертичного возраста. Основную массу сорванного рыхлого материала представляли ледниковые отложения и только в



а



б

Рис. 50. Динамика развитая эрозионно-оползневых процессов хорошо устанавливается по аэроснимкам повторных залетов:
а — аэроснимок 1955 г.; б — аэроснимок 1958 г.

нижней части уступа в селевой поток были вовлечены гравитационные и гравитационно-пролювиальные отложения. Первоначальный объем рыхлого материала, принявший участие в селеобразовании, по данным фототриангуляционных вычислений составил 6 170 000 м³.

Далее последовал участок транзита селя до устьевой части руч. Жарсай, где пополнение его твердой составляющей было очень незначительно. Долина ручья на этом участке имеет V-образный профиль, русло расположено на скальном основании.

Перед непосредственным впадением в р. Иссык и по ее долине до участка «Мертвая Поляна» селя значительно углубился в аллювиально-пролювиальные отложения, слагающие русло реки, расширил его и привел в неустойчивое состояние примыкающие склоны, сложенные гравитационным и гравитационно-пролювиальными отложениями. Часть этих склоновых отло-

жений и отложений временных потоков была вовлечена в грязекаменный поток. Объем рыхлых отложений, пополнивших селя на этом участке, составил 530 000 м³.

На участке «Мертвая Поляна» перед селевым конусом Иванова Тога, перегораживающим долину, отложилась часть твердой составляющей селя (около 730 000 м³).

Ниже Иванова Тога селевой поток вновь резко переуглубил русло реки, сложенное аллювиально-пролювиальными осадками,

местами значительно перекрытыми гравитационными и гравитационно-пролювиальными отложениями. На этом участке селевой поток пополнился рыхлыми отложениями объемом 340 000 м³.

Перед оз. Иссык русло реки резко уменьшает продольный уклон и увеличивается ширина дна долины. Обвальная плотина озера создала на большой площади (1 122 000 м²) выровненную полого наклоненную (2—3°) террасу. За время существования плотины все мощные селевые потоки гасились перед плотиной. Объем отложений селя перед озером составил 5 729 000 м³. Исходя из полученных данных, можно полагать, что селя 1963 г., возникший в верховьях руч. Жарсай, прекратил свое существование перед плотиной оз. Иссык. Однако, когда этот селя достиг оз. Иссык, он резко повысил уровень воды в озере, образовал крупные волны, что привело к переливу воды через плотину и прорыву ее. Таким образом образовался вторичный селевой поток.

Приведенные данные достаточно наглядно иллюстрируют эффективность использования материалов аэрофотосъемки для количественной оценки условий селеобразования и характера селевых процессов. Способы количественных измерений по аэроснимкам подробно рассмотрены в ряде работ (Воевода, 1963; Кель, 1959; Коншин, 1950; Трушин, 1964; Филькин, 1960 и др.).

ГЛАВА VII

ОПЫТ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ УСЛОВИЙ СЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПО МАТЕРИАЛАМ КАМЕРАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОСНИМКОВ И НАЗЕМНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

В связи с внедрением аэрометодов в практику изучения селей при освоении горно-складчатых областей нами проводился специальный эксперимент для оценки полноты и достоверности информации, получаемой на основе камерального дешифрирования аэроснимков. Для этой цели был выбран опытный участок, представляющий собой бассейн одной из горных рек северного склона хр. Заилийского Алатау общей площадью 240 км². По характеру рельефа эта территория расположена в различных высотно-геоморфологических областях, включая высокогорно-ледниковую, высокогорно-эрозионную, среднегорную и область ступенчатых предгорий.

В геологическом строении района принимают участие в основном интрузивные породы, представленные гранитами. Меньшее распространение имеют эффузивные и метаморфические образования. Поверхностные породы представлены комплексами отложений разнообразных генетических типов: ледникового, водно-ледникового, гравитационного, пролювиального и аллювиально-пролювиального. Мощность поверхностных отложений невелика. В составе пород преобладает грубообломочная фракция. Активно протекают

современные геологические процессы — термокарст, солифлюкция, выветривание, оползание, обвалы, эрозия и др.

Выбор данного участка был обусловлен тем, что он является типичным для альпийских горных сооружений Средней Азии, территория его была полностью покрыта площадной аэрофотосъемкой хорошего качества и инженерно-геологической съемкой с составлением карты, которая могла служить основой при проверке результатов камерального дешифрирования материалов аэрофотосъемки.

Методика эксперимента заключалась в составлении карты инженерно-геологических условий по результатам камерального дешифрирования аэроснимков и сравнения ее с аналогичной картой, полученной на основе проведения обычной инженерно-геологической съемки. При дешифрировании использовались летние черно-белые, панхроматические аэроснимки масштабов 1:15 000—1:20 000. В работах по дешифрированию принимали участие специалисты, имевшие одногодичный опыт работы в районах со сходными природными условиями, где были установлены дешифровочные признаки важнейших факторов селеобразования: селевых очагов, зон транзита и аккумуляции селей. По материалам аэрофотосъемки была составлена предварительная карта инженерно-геологических условий. В результате дешифрирования были выявлены и показаны на карте границы распространения важнейших геолого-генетических типов поверхностных отложений (ледниковых, водно-ледниковых, аллювиально-пролювиальных, пролювиальных, гравитационных и пр.), выходы скальных пород, высотные пояса, характерные формы и элементы рельефа (уступы, морены и моренные валы, кары, днища, пороги, водоразделы, овраги и пр.), проявления современных геологических процессов (пути движения селей, оползни, осыпи, термокарст, солифлюкция и т. д.), а также дизъюнктивные нарушения различного характера.

Геолого-генетические комплексы поверхностных отложений были охарактеризованы по составу слагающих их пород (камни, щебень, дресва, валуны, галька, гравий, песок и суглинок) и возрасту (современные, верхнечетвертичные).

Перенос отдешифрированных границ контуров и единичных объектов с аэроснимков на топографическую основу производился глазомерно без использования приборов.

К моменту завершения работ по инженерно-геологическому дешифрированию и составлению на его основе предварительной карты инженерно-геологических условий была закончена наземная инженерно-геологическая съемка опытного участка другой группой специалистов и составлена по схожей легенде аналогичная карта с использованием материалов наземных наблюдений, горно-буровых и геофизических работ и опробования горных пород.

Сопоставление указанных карт проводилось на научно-техническом совещании представителей заинтересованных организаций с участием исполнителей и авторов карт.

Помимо сравнительного анализа двух карт для разбора ошибок

дешифрирования и проверки полученных результатов были проведены контрольные наземные маршруты по территории съемки, которые позволили более объективно судить о достоверности выделения различных элементов природной обстановки и правильности оценки инженерно-геологических условий.

Проверка показала, что в результате камерального дешифрирования были достаточно полно и в основном правильно выделены геолого-генетические комплексы отложений, геологические процессы и явления, определены морфологические и морфометрические характеристики рельефа. Все это позволило с достаточной степенью достоверности оценить и отобразить на предварительной карте условия селеобразования. Путем сравнительной оценки обеих карт установлено, что объем информации, заложенной в предварительной карте, составляет 60—70% от общего объема информации карты, полученной на основе специализированной наземной инженерно-геологической съемки.

Неполнота информации касается в основном определения свойств горных пород, мощности отложений и гидрогеологических условий.

Проведенный анализ позволил установить следующие недостатки результатов дешифрирования аэроснимков: а) не выделены уступы на отдельных моренах; б) показано меньшее количество эрозионных и эрозионно-лавиновых лотков; в) не произведено подразделение ледников и снежников; г) в двух случаях не выделены оползневые накопления на склонах; д) не выделены делювиально-гравитационные отложения на верхнечетвертичной аллювиально-пролювиальной террасе. Кроме того, выявились некоторые различия в границах выделения близких парагенетических комплексов рыхлых отложений, в частности, аллювиально-пролювиальных, пролювиальных и делювиальных. Анализ ошибок дешифрирования при выполнении контрольных работ на опытном участке позволил разделить их на две группы: субъективные и объективные.

Субъективные ошибки при дешифрировании нашли отражение в некоторых различиях выделения границ близких парагенетических комплексов рыхлых отложений, пропуске некоторых природных объектов (оползней, эрозионных и лавинных лотков) и неправильном переносе границ объектов с аэроснимков на карту.

Ошибки объективного характера связаны с отсутствием надежных дешифровочных признаков, сложностью и недостаточной изученностью коррелятивных взаимозависимостей между элементами природной обстановки. Это относится прежде всего к определению состава и свойств некоторых типов горных пород, а также мощности отложений и гидрогеологических условий.

Если ошибки первой группы при дешифрировании могут быть устранены путем повышения дешифровочных свойств аэрофотоматериалов (использование спектрально-анализных аэроснимков или аэроснимков более крупного масштаба и т. п.), а также в процессе накопления необходимого опыта и приобретения соответствующих

навыков по дешифрированию, то ошибки второй группы устранимы лишь путем непосредственных наземных исследований с использованием буровых и геофизических работ.

В то же время сравнительный анализ карт показал и некоторые преимущества карты, составленной по материалам аэрофотосъемки. На ней нашли более точное отображение границы геолого-генетических комплексов отложений, более полно показано распространение ряда современных геологических процессов: осыпей, термокарста, солифлюкции и др., дополнительно выделен ряд тектонических разломов и т. п.

Таким образом, получаемая в результате камерального дешифрирования информация весьма многообразна, но все же нуждается в уточнении и дополнении с помощью наземных исследований. Только комплексное использование камерального дешифрирования аэроснимков в сочетании с наземными исследованиями обеспечивает получение полной информации об условиях селеобразования в горных районах, которая необходима для оценки селеопасности территорий и обоснованных прогнозов образования селей.

ГЛАВА VIII

АЭРОВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЛЕЙ

Аэровизуальные наблюдения являются вспомогательным методом и при изучении селей могут быть использованы в процессе рекогносцировочных, контрольных и дежурных обследований.

Рекогносцировочные аэровизуальные обследования производятся при региональных инженерно-геологических исследованиях и при детальном картировании селевых бассейнов. Они осуществляются перед началом полевых работ для общего ознакомления с природными условиями изучаемой территории и позволяют составить общее представление о районе работ, особенностях его рельефа и геологического строения, установить проявление различных типов современных геологических процессов и оценить их роль в селеобразовании.

При аэровизуальных наблюдениях селевые бассейны хорошо выявляются по видимым следам образования и путям прохождения селей, причем по характеру области питания, морфологии транзитной зоны и конусам выноса можно оценить степень селевой опасности бассейна.

Помимо решения ряда общих и специальных геологических задач, аэровизуальные наблюдения позволяют обследовать условия проходимости перевалов, расположение горных троп, выбрать место базирования партии и т. д.

Контрольные аэровизуальные обследования проводятся в период полевых работ для уточнения, детализации и проверки

результатов камерального дешифрирования, наземных работ и контроля составленных карт.

В горных районах, подвергающихся эпизодическому воздействию селевых потоков, плановые аэроснимки часто не отражают деталей геологического строения, на них не выявляются обрывистые обнажения, а на мелкомасштабных аэроснимках не опознаются мелкие объекты. Из-за резкой расчлененности рельефа на аэроснимках образуются длинные тени, которые маскируют затененные участки склонов. Все это затрудняет камеральное дешифрирование аэроснимков, возникают сомнения в правильности опознавания отдельных объектов, остается нерешенным ряд вопросов.

Аэровизуальные контрольные наблюдения позволяют устранить недостатки камерального дешифрирования. Существенные преимущества аэровизуальных наблюдений заключаются в изучении местности в ее естественном виде при различных масштабах наблюдения, восприятии форм, размеров и деталей в обычных для глаза ракурсах со всем богатством цветовых оттенков, что обеспечивает лучшую возможность опознавания и изучения элементов природной обстановки.

В процессе инженерно-геологической съемки в период полевых работ иногда возникают спорные вопросы, требуется увязка контуров и проверка составленных карт. В этом случае контрольные аэровизуальные наблюдения позволяют быстро разрешить сомнения и сделать правильные выводы.

Дежурные аэровизуальные обследования проводятся по наиболее селеопасным бассейнам для наблюдения за развитием неблагоприятных процессов и явлений, которые вызывают образование селевых потоков.

Периодичность таких облетов зависит от интенсивности геологических процессов и повторяемости селевых потоков на изучаемой территории. В связи с тем, что развитие современных геологических процессов в горных районах часто обуславливается метеорологическими и сейсмотектоническими факторами, дежурные полеты проводятся более часто после прохождения затяжных дождей, длительных периодов значительного повышения среднесуточных температур, что вызывает интенсивное таяние ледников, а также при активных проявлениях сейсмической деятельности.

Особое внимание при дежурных аэровизуальных обследованиях следует обращать на положение границы и характер ледников, ледниковые и термокарстовые озера, которые при прорывах могут вызвать катастрофические селевые потоки. Не менее важно вести наблюдения и за формированием обвалов, оползней, оплывин, снежных лавин, многие из которых, перегораживая русло постоянных поверхностных водотоков, вызывают сели.

Успех аэровизуальных наблюдений во многом зависит от опыта исполнителя и качества подготовки к полетам. Учитывая быструю смену и разнообразие объектов наблюдений, документация во время полета крайне затруднительна; не обеспечивается достаточная

точность привязки и картирования. Поэтому аэровизуальные наблюдения должны проводиться после камерального дешифрирования аэроснимков, в процессе которого выявляются основные вопросы, подлежащие проверке и уточнению.

При отсутствии материалов аэрофотосъемки аэровизуальные наблюдения проводятся по имеющимся геологическим, геоморфологическим и другим картам. Предварительно на фотосхемах или картах разбивается сеть маршрутов, поднимаются опорные ориентиры и участки, подлежащие обследованию.

Для фиксации результатов наблюдений разрабатывается специальная система условных обозначений. Для записи наблюдений желательна установка магнитофона. Наиболее удобным для этих целей является портативный магнитофон «Репортер-3», специально переоборудованный путем замены микрофона ларингофоном. Хорошим способом документации является также перспективное аэрофотографирование. Каждый аэроснимок точно привязывается к карте или фотосхеме, указывается номер и наименование объектов (участков). Описание маршрутов ведется с точной отметкой времени прохождения летного средства над опорными ориентирами. Для облегчения ориентировки пилот или штурман в момент прохождения ориентира подает сигнал сиреной, и наблюдатель фиксирует время на карте. Для аэровизуальных наблюдений в горных районах наиболее удобны вертолеты МИ-1, КА-18, МИ-4. Однако высокая стоимость их аренды часто заставляет ограничиваться легкими самолетами ЯК-12М или АН-2.

При полетах в горах следует учитывать некоторые специфические условия, связанные с техническими ограничениями полетов. В высокогорье при резкой расчлененности рельефа легкие вертолеты и самолеты не могут летать выше определенной высоты. В ряде случаев из-за сильных восходящих и нисходящих воздушных потоков приходится избегать полетов ниже бортов долин, особенно узких, если их ширина на установленной высоте менее 500 м. При выполнении наблюдений вдоль склонов, имеющих крутизну более 45°, не разрешается приближаться к ним ближе 50 м. При наличии явно выраженных хребтов маршруты следует приурочивать к долинам рек и ущельям, с разворотом в конце долин. Маршруты, как правило, начинаются от главной долины, а затем проходят по боковым. Особую осторожность следует соблюдать при разворотах. Категорически запрещается производить развороты с креном более 20°. Не рекомендуется также производить перелеты через перевалы и седловины на малой скорости и высоте.

Непосредственно сразу после полетов производится обработка материалов аэровизуальных наблюдений. Как правило, очередные полеты не проводятся до тех пор, пока не произведена обработка предыдущих. В процессе обработки материалов аэровизуальных наблюдений на карте уточняется линия фактического маршрута, расшифровываются условные обозначения на карте или аэроснимках, а также сокращенные записи в книжке.

Желательно, чтобы обработка заснятой пленки проводилась в минимально короткие сроки после полетов. Отпечатанные снимки нумеруются и привязываются к карте, на оборотной стороне подробно описывается основное содержание фотографируемых объектов. Прослушивается запись на магнитофоне, которая сопоставляется с данными, зафиксированными на карте и перспективных снимках. В результате этой работы анализируется весь материал, собранный в процессе аэровизуальных наблюдений, и составляются подробные описания маршрутов с краткими выводами об эффективности аэровизуальных наблюдений.

ГЛАВА IX

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕЛЕОПАСНЫХ РАЙОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОМЕТОДОВ

Применение аэрометодов при изучении селеопасных районов требует соблюдения определенных условий организации и порядка проведения исследований. В общем виде структурно-технологическая схема работ приведена на рис. 51.

Для проведения исследований по указанной схеме исполнители прежде всего должны заблаговременно запастись качественными материалами аэрофотосъемки и получить разрешение на производство аэрогеологических работ. Для этого оформляется разрешение в соответствующем отделе Госгеонадзора, производится заказ на изготовление контактных отпечатков, накидного монтажа, фотосхем на всю изучаемую территорию по залетам, ранее выполненным предприятиями ГУГКа, Сельхозаэросъемки, Леспроекта и пр. Если такие залеты не выполнялись или качество аэрофотоснимков плохое, производится специальная аэрофотосъемка по заказу геологического предприятия.

В проекте должны быть учтены все особенности работ с применением аэрометодов, а также качество имеющихся материалов аэрофотосъемки.

Сбор материалов и их изучение при использовании материалов аэрофотосъемки должен проходить целенаправленно. Важно не только получить представление о природных условиях района, но и выявить взаимосвязи между внешними компонентами ландшафта и элементами инженерно-геологической обстановки. На основе обобщения и анализа собранного материала производится типизация ландшафтных индикаторов элементов инженерно-геологических условий, составляются индикационные таблицы и легенда для дешифрирования. Камеральное дешифрирование проводится до начала полевых работ с использованием всех имеющихся материалов по району.

Непосредственное сопоставление аэроснимков с имеющимися

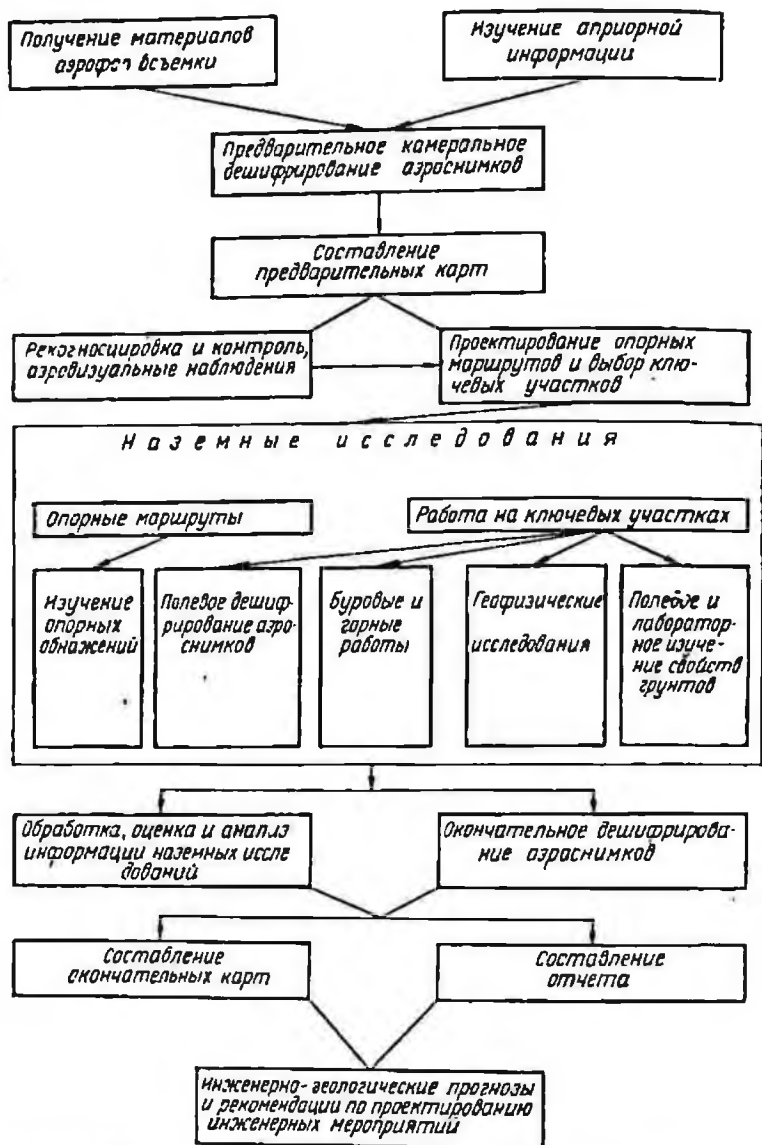


Рис. 51. Структурно-технологическая схема региональных исследований селений с применением аэрометодов

по данной территории картами (геологической, геоморфологической, растительности и пр.), фондовыми и литературными материалами позволяет выявить дешифровочные признаки. Большую пользу могут принести эталоны типичных аэрофотоизображений объектов и таблицы дешифровочных признаков, которые были составлены ранее по другим районам, имеющим сходные ландшафтно-геологические условия.

Детальность дешифрирования зависит от масштаба инженерно-геологических исследований, а также масштаба используемых материалов аэрофотосъемки, их качества и природных условий территории.

При мелкомасштабной (1:200 000—1:500 000) инженерно-геологической съемке селеопасных районов можно ограничиться схематическим и выборочным дешифрированием, поскольку количество информации, получаемой по аэроснимкам, превышает возможности ее отображения на данном масштабе карты.

Схематическое дешифрирование осуществляется по имеющимся фотосхемам (фотопланам). При этом выделяются основные геоморфологические области по зональным особенностям, в пределах которых производится выбор отдельных особых бассейнов, являющихся типичными для данной территории.

По этим бассейнам производится выборочное комплексное дешифрирование с целью оценки степени их селеопасности. Комплексное дешифрирование включает выявление на аэроснимках гидрографической сети, рельефа, растительности, населенных пунктов и элементов хозяйственного освоения территории, а также особенностей геологического строения и проявления современных геологических процессов. Особое внимание уделяется дешифрированию скалистых обнажений, обрывистых склонов, элювиальных каменных россыпей, обвальных накоплений, современных и древних морен, крупных осыпей, конусов выноса, оползней, следов прохождения лавин. Выявление всех перечисленных объектов и перенесение их на фотосхему или карту позволит геологу сделать оценку степени селеопасности района, а полученные выводы распространить на другие бассейны, близкие по своим природным условиям, используя для этого сходство их аэрофотоизображений.

При детальном изучении селеопасных бассейнов (масштаб 1:25 000—1:50 000) производится сплошное комплексное дешифрирование с одинаковой степенью подробности.

По результатам камерального дешифрирования составляется серия предварительных специальных карт, выбирается направление аэровизуальных облетов, планируется рациональная сеть наземных маршрутов, определяется состав наземных работ и места заложения горных выработок.

Наземные исследования при применении аэрометодов имеют свою специфику. Использование материалов аэрофотосъемки и аэровизуальных наблюдений позволяет в ряде случаев отказаться от сплошного искаживания территории и дает возможность сокра-

тить сеть наземных маршрутов, сосредоточить работы на ключевых участках и опорных профилях. При этом все наземные исследования обязательно сопровождаются полевым дешифрированием аэроснимков.

Особенности наземных исследований с применением полевого дешифрирования заключаются в том, что помимо традиционных описаний обнажений и других наблюдений производится точная привязка изучаемого объекта к аэроснимку и сопоставление его фотозображения с натурными наблюдениями на местности. Это позволяет уточнить и детализировать дешифровочные признаки, раскрыть их содержание, проверить устойчивость признаков и достоверность дешифрирования. Кроме того, в процессе работ выявляется ряд новых дешифровочных признаков, позволяющих картировать площадь между маршрутами и труднодоступные участки местности.

В задачу окончательного дешифрирования, осуществляемого после проведения полевых работ, входит исправление и дополнение предварительных специальных карт на основе проведенной ранее наземной инженерно-геологической съемки, а также полевого дешифрирования аэроснимков и комплекса других видов наземных исследований. В процессе этой работы уточненные геологические контуры переносятся с аэроснимков на топографическую основу с помощью визуальных или инструментальных методов. Обращается внимание на обоснованность интерполяции и экстраполяции условий селеобразования по дешифровочным признакам. В этот период в полной мере используются измерительные свойства аэроснимков для получения ряда количественных характеристик селеопасных районов (водосборной площади селевого бассейна, крутизны склонов и средних уклонов поверхности, объема материала, вынесенного селем, степени пораженности территории геологическими процессами, участвующими в образовании селей и т. п.).

По отдельным наиболее интересным участкам с интенсивно развитыми геологическими процессами производится сравнительное дешифрирование аэроснимков повторных залетов, выполненных с интервалом в несколько лет, что дает возможность изучить динамику процессов.

Окончательные карты условий формирования селей, составленные с использованием аэрометодов, отличаются большой точностью, более полным отображением тектонических элементов, четвертичных отложений, развития современных геологических процессов и количественных характеристик элементов инженерно-геологических условий. Эти карты могут служить надежной основой для оценки степени селеопасности изучаемой территории.

В целях улучшения организации труда исследования с применением аэрометодов целесообразно проводить при двухгодичном цикле обследований.

В первый год осуществляется изучение и обобщение всех литературных, фондовых и картографических материалов, произво-

дится камеральное дешифрирование с составлением серии предварительных карт по всей площади исследований. В полевой период выполняются рекогносцировочные аэровизуальные наблюдения, а также опорные наземные маршруты. В результате таких исследований уточняется положение ключевых участков и более обоснованно проектируется необходимый объем более детальных исследований. Во второй год на отдельных ключевых участках проводятся детальные исследования, которые включают горно-буровые работы, геофизические исследования, опробование горных пород и подземных вод, полевые определения свойств пород.

Полученный материал тщательно анализируется в камеральный период, уточняются предварительно составленные карты и составляется отчет о проведенных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеевко Е. Я. Типы оползневых явлений по материалам аэрофотосъемки. В сб. «Аэрометоды при поисках полезных ископаемых и геол. картирование». М.—Л., изд-во «Наука», 1964.

Афанасьева Т. В. Использование аэрометодов при картировании и исследовании почв. Изд-во МГУ, 1965.

Афанасьева Т. Ф., Лидов В. П. О применении аэрофотоматериалов при исследовании водной эрозии почв. Научн. докл. высшей школы. Биологические науки, 1962, № 3.

Альтер С. П. Ландшафтный метод дешифрирования аэроснимков. Изд-во «Наука», 1966.

Альтер С. П. О методах дешифрирования, дешифровочных признаках и основных этапах дешифровочного процесса. Изв. Всес. геогр. об-ва, т. 99, вып. 4. Л., изд-во «Наука», 1967.

Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых (ред. Г. Ф. Лунгерсгаузен), т. I. Общие принципы исследований, т. II, региональные очерки, вып. 2. Средняя Азия и Казахстан. Изд-во «Недра», 1964.

Белов С. В., Дмитриев И. Д., Колесова Е. А. Аэрофотосъемка и авиация в лесном хозяйстве. Л., 1962.

Березин А. М. Влияние условий аэрофотосъемки на достоверность дешифрирования лесов на аэроснимках. В кн. «Использование аэрометодов при исследовании природных ресурсов». Изд-во АН СССР, 1961.

Березин А. М., Харин Н. Г. Методическое пособие по использованию спектрональных аэроснимков для дешифрирования лесов. Гослесбумиздат, 1960.

Боч С. Г. Солифлюкция на Приполярном Урале. В сб. «Материалы по геоморфологии Урала», вып. 1, М.—Л., Госгеолиздат, 1948.

Бочаров М. К., Самойлович Г. Г. Математические основы дешифрирования леса. Изд-во «Лесная промышленность», 1964.

Брюханов В. Н. Пути использования цветных аэрофотоматериалов для геологических целей. «Разведка и охрана недр», 1962, № 2.

Брюханов В. Н. О теории геологического дешифрирования. БНТИ, ВЦЭМС, 1962, № 9.

Брюханов В. Н. Требования к материалам аэрофотосъемки при геологических работах. В сб. «Методы дешифрирования аэрофотоматериалов при геологических исследованиях». М., изд-во «Недра», 1964.

Валях В. М. Принципы интерпретации структуры аэрофотоизображения для инженерно-геологических целей с применением панхроматических и спектрально-зональных аэрофотоснимков (на примере среднего течения р. Печоры). Сб. ст. по геологии и инженерной геологии 2 ГУ, вып. 6, изд-во «Недра», 1967.

Валях В. М., Крягер Е. Р. Некоторые результаты применения цветных аэроснимков при инженерно-геологическом картировании в условиях лесной зоны. Сб. «Скоростные методы инженерно-геологических исследований для целей массового строительства», Тр. ВСЕГИНГЕО, нов. сер. Изд-во «Недра», вып. 3, 1964.

Валях В. М., Комаров И. С., Рубахин В. Ф., Садов А. В. Методы ускоренного инженерно-геологического картирования. ОНТИ ВИЭМС, 1966.

Викторов С. Ю. Изучение распределения и дисперсии растений по аэро-снимку. БМОИП, вып. 4, 1947.

Викторов С. В. Морфологический анализ аэроснимка в целях индикации инженерно-геологических условий. БНТИ ВИЭМС. Серия «Гидрогеол. и инж. геол.», 1966, № 1.

Викторов С. В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М., изд-во «Недра», 1966.

Викторов С. В., Востокова Е. А. Основы индикационной геоботаники. М., Госгеолтехиздат, 1961.

Викторов С. В., Востокова Е. А. Применение аэрометодов для распознавания специфических ландшафтов, связанных с проявлением тектонических нарушений. В сб. «Применение аэрометодов в ландшафтных исследованиях». М., Изд-во АН СССР, 1961.

Викторов С. В., Востокова Е. А., Воронкова Л. Ф. Обнаружение тектонических нарушений. Тр. ВАГТ, вып. 1, 1955.

Викторов С. В., Востокова Е. А., Шемшурин В. А. О возможности использования геоботанических методов при микросейсмическом районировании. БНТИ ВИЭМС. Серия «Гидрогеол. и инж. геол.», вып. 68, 1965.

Виноградов Б. В. Примеры связи растительности и почв с новейшей тектоникой. «Бот. ж.», т. 40, 1955, № 6.

Виноградов Б. В. О связи растительности с грунтовыми водами в степных ландшафтах Северного Казахстана и использование растительности в качестве индикатора при гидрогеологическом дешифрировании аэроснимков. Изв. АН СССР, серия геогр., 1958, № 1.

Виноградов В. В. Географические закономерности дальней экстраполяции признаков дешифрирования ландшафтов — аналогов. В сб. «Применение аэрометодов для изучения грунтовых вод». М., изд-во АН СССР, 1962.

Виноградов В. В. Аэрометоды изучения растительности аридных зон. М., изд-во «Наука», 1966.

Виноградов В. В. Принципы аэрофотографического эталонирования растительности. В сб. «Аэрофотографическое эталонирование и экстраполяция». М., изд-во «Наука», 1967.

Виноградова А. И. Общие принципы дешифрирования аэроснимков при геолого-географических исследованиях. В сб. «Комплексное дешифрирование аэроснимков». М., изд-во «Наука», 1964.

Воевода В. М. Определение крутизны склонов и элементов залегания пластов горных пород при дешифрировании аэроснимков. Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», вып. 3, 1963.

Востокова Е. А. Ландшафтно-индикационный метод поисков и картирования пресных грунтовых вод в аридных областях (на примере Северного Приаралья). В сб. «Скоростные методы исследований при гидрогеологических и инженерно-геологических съемках». М., изд-во «Недра», 1969.

Временные методические указания по инженерно-геологическому изучению селей. Изд. ВСЕГИНГЕО, 1964.

Втюрина Е. А. Криогенные склоновые террасы. М., изд-во «Наука», 1966.

Высоцкий Б. П. Аэрофотометоды при геологических исследованиях. М., Госгеолтехиздат, 1962.

Вышивкин Д. Д. Связь растительности с мощностью элювиально-делювиальных отложений на плато Устюрт и на равнинном Мангышлаке. Тр. МОИП, т. VIII, 1964.

Гавеман А. В. Аэросъемка и исследование природных ресурсов. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.

Голоскоков Б. П. Флора и растительность высокогорных поясов Заилийского Алатау. Алма-Ата, Изд-во АН Каз. ССР, 1949.

Голубев Г. Н., Лабуткина И. А. Дешифрирование селей высокогорий по аэрофотоснимкам. Вестн. МГУ, сер. V, география, 1966, № 1.

Горчаковский П. Л. Сукцессии и динамическая классификация растительности горных тундр. Сб. «Проблемы ботаники», т. 8, М.—Л., 1966.

Горяинова И. Н., Медведева В. К., Мяло Е. Г. Опыт классификации аномалий в растительности и ландшафтах Северного Прикаспия в связи с влиянием новейших тектонических процессов. БМОИП, отд. геол., т. 40, 1965, № 3.

Господинов Г. В. Дешифрирование аэроснимков. Изд. МГУ, 1961.

Григорьев А. А. Применение количественных методов при дешифрировании аэроснимков. В сб. «Аэросъемка и ее применение». М., изд-во «Наука», 1967.

Гольдман Л. М. Применение цветной аэросъемки для изучения местности. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 137, 1960.

Гольдман Л. М. Современное состояние и использование цветной аэрофотосъемки в зарубежных странах. Госгеолтехиздат, 1963.

Демипа В. В. Составление специальных карт по материалам аэрофотосъемки. Сб. «Аэрометоды в природных исследованиях». Тр. ЛАЭР, т. X, 1960.

Дуглаев В. А. Изучение эрозионного расчленения и составление эрозионных карт по аэроснимкам. Уч. зап. Казахск. ун-та, 1964, № 4.

Думетрашко Н. В., Бугаков Б. А., Ермаков А. В., Иогансон В. Е., Фыбыный М. Ф., Флейшман С. М. Проблема селей и их изучение. Сб. «Современные экзогенные процессы рельефообразования». М., изд-во «Наука», 1970.

Емельянова Е. П. О причинах и факторах оползневых процессов. Сб. «Вопросы гидрогеол. и инж. геол.», М., Госгеолтехиздат, 1953.

Емельянова Е. П. О влиянии высоты, крутизны и экспозиции склонов на оползневые процессы. БМОИП, нов. серия, т. XVI, вып. 3, 1959а.

Емельянова Е. П. О методах прогноза оползневых явлений. Сб. «Вопросы гидрогеол. и инж. геол.», вып. 16, 1959б.

Ермаков А. В. Роль различных вертикальных зон в образовании селей. Изв. АН СССР, серия геогр., 1962, № 2.

Жандаев М. Ж. Сели Занлийского Алатау и вопросы их прогнозирования. Вестн. АН Каз. ССР, 1966, № 2.

Зайцев Ю. А., Мухина Л. А. Применение цветной и спектральной аэрофотосъемки в геологических целях. Изд-во МГУ, 1966.

Ивернова М. И. Движение осыпей. Тр. Ин-та географии, вып. 60, 1954.

Ивернова М. И. Современная деятельность временных потоков в высоких горах Прииссыккуля. Изв. АН СССР, серия геогр., 1963, № 1.

Ивернова М. И. Особенности денудации склонов на Северном Тянь-Шане. Изв. АН СССР, серия геогр., 1963, № 3.

Инженерно-геологическое дешифрирование материалов аэрофотосъемки. ВНИИ ВИАМС, 1969, № 4.

Кавецкий С. П., Коровин В. И. К вопросу о рекогносцировочном аэро-обследовании селевых районов. Л., Тр. Каз. НИГМИ, вып. 3, 1954.

Каплина Т. Н. Криогенные склоновые процессы. М., изд-во «Наука», 1965.

Качурин С. П. Термокарст на территории СССР. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Кель Н. Г. Измерительное дешифрирование аэроснимков в полевых условиях. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Колотилин Н. Ф. Деформация горных и береговых склонов в условиях сейсмических и селевых районов Юго-Восточного Казахстана. Алма-Ата, 1961.

Колотилин Н. Ф., Бочкарев А. С. Опыт региональной типизации селевых бассейнов Юго-Восточного Казахстана. Изв. АН Каз. ССР, серия геол., 1963, № 1.

Комаров В. Б. Определение крутизны склонов местности по аэроснимкам с помощью стереоуклономера. В сб. «Комплексное дешифрирование аэроснимков». М.—Л., изд-во «Наука», 1964.

Комаров В. Б., Павлов В. И. К вопросам определения крутизны склонов местности по аэроснимкам. В сб. «Комплексное дешифрирование аэроснимков». М.—Л., изд-во «Наука», 1964.

Комаров И. С. Некоторые проблемы применения аэрометодов при инженерно-геологическом картировании. В сб. «Аэрометоды исследования местности». М., изд-во «Наука», 1966.

Комаров И. С., Садов А. В. Некоторые общие вопросы методики применения аэрометодов при скоростных инженерно-геологических исследованиях. В сб. «Методы дешифрирования аэрофото материалов при геологических исследованиях» М., изд-во «Недра», 1964.

Кошкин М. Д. Простейшие способы измерений по аэрофотоснимкам. Тр. ЛАЭР, т. II, 1950.

Косов Б. Ф., Червяков В. А. Опыт определения роста оврагов по материалам повторных аэрофотосъемок. «География и хозяйство», 1961, № 11.

Кудрицкий Д. М., Попов И. В., Романов Е. А. Основы гидрографического дешифрирования аэрофотоснимков. М., Гидрометиздат, 1956.

Лидов В. П., Дик Н. Е. и др. Классификация современных линейных форм эрозии. М., Изв. АН СССР, серия геогр., 1954, № 3.

Лидов Н. П., Николаевская Е. М., Сабо Е. Д. Методическая схема изучения факторов эрозии и прогноза эрозионных процессов. Изв. Всесоюз. геогр. об-ва, 1957.

Лидов В. П., Сетунская Л. Е., Хмелева Н. В. Исследование микроформ размыва количественными методами. В сб. «Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней». Изд-во АН СССР, 1956.

Лиссовский М. А. Инженерно-геологическое дешифрирование материалов аэрофотосъемки при железнодорожных изысканиях. Тр. ЦНИИИС, сообщ. 56, 1954.

Лиссовский М. А. Применение аэрофотосъемки при рекогносцировочных инженерно-геологических исследованиях. Тр. ЦНИИИС, сообщ. 95, 1957.

Лютцау С. В. О роли корневых систем древесных растений в движении рыхлых обломочных масс на склонах и в формировании рельефа. Сб. «Вопросы географии», вып. 46, 1959.

Методическое руководство по инженерно-геологическому изучению селей. М., изд-во «Недра», 1970.

Мирошниченко В. П. Аэрогеосъемка. М.—Л., Госгеолгиздат, 1946.

Мирошниченко В. П. Опыт разработки и применения аэрометодов для изучения новейших и современных тектонических движений в пределах предгорных разрыв аккумулятивно-золотового типа. Тр. ЛАЭР, т. III, 1954.

Мирошниченко В. П. Применение аэрометодов в геологии. Тр. ЛАЭР, т. VIII, 1959.

Мирошниченко В. П. Ландшафтный подход, его особенности и значение в изучении новейшей тектоники. Тр. совещ. по применению аэрометодов в ландшафтных исследованиях. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1961.

Мирошниченко В. П. Современное состояние теории и практики ландшафтного дешифрирования аэроснимков. В сб. «Теория и практика дешифрирования аэроснимков». М.—Л., изд-во «Наука», 1966.

Невяжский И. И., Садов А. В. Способы количественной оценки по аэроснимкам морфологических характеристик природно-территориальных комплексов. В сб. «Аэрометоды». Мат-лы МФГО СССР, вып. I, 1957.

Ошучин М. С. Опыт применения спектрональных аэрофотоматериалов при инженерно-геологических изысканиях. ОНТИ ВИЭМС, 1962, № 3.

Орлякин В. Н. Определение мощности руслового аллювия по аэрофотоснимкам верхов блуждения рек. Сб. «Вопросы географии», вып. 63, 1963.

Петрусевич М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. М., Госгеолтехиздат, 1962.

Петрусевич М. Н., Казик Л. И. Цветная аэрофотосъемка при геологическом картировании. «Советская геология», 1955, № 42.

Платоненко М. А. Количественная характеристика дешифровочных признаков почв на аэроснимках при помощи коэффициентов корреляции. «Почвоведение», 1963, № 1.

Полканова Л. П. Применение материалов аэрофотосъемки при структурно-геоморфологических исследованиях в некоторых районах Средней Азии. В сб. «Методы дешифрирования аэрофотоматериалов при геологических исследованиях». М., изд-во «Недра», 1964.

Поникаров В. П., Кузнецов Ю. Я. Опыт использования аэрометодов при комплексном геологическом картировании в некоторых районах Средней Азии. Тр. ЛАЭР, т. VIII, 1959.

Применение аэрометодов в ландшафтных исследованиях. М., изд-во АН СССР, 1961.

Предварительные рекомендации по оценке пригодности имеющихся аэрофотоснимков и по определению условий аэрофотосъемки для геологических работ. М., ВАГТ, 1964.

Проскуракова М. Г. Некоторые данные о связи растительного покрова с элювиально-делювиальными образованиями на хребте Бол. Балкан. Тр. МОИП, т. VIII, 1964.

Рубахин В. Ф., Садов А. В. Возможности использования методов математической статистики и теории информации при специальном дешифрировании. БНТИ ВИЭМС. Серия «Методика, техника и экономика геодезических, аэрофото-топографических и картографических работ», 1968, № 4.

Рубахин В. Ф., Садов А. В., Тагунова Л. Н. Опыт разработки геоботанических дешифровочных признаков при инженерно-геологических исследованиях с применением аэрометодов. В сб. «Скоростные методы инженерно-геологических исследований для целей массового строительства». Тр. ВСЕГИНГЕО, нов. серия. М., изд-во «Недра», 1964, № 3.

Садов А. В. О количественной оценке общей структуры аэрофотонизображения ландшафта при инженерно-геологическом дешифрировании. БНТИ ВИЭМС. Серия «Гидрогеология и инженерная геология», 1966, № 1.

Садов А. В. Основные принципы дешифрирования селевых очагов по материалам аэрофотосъемки. Сб. «Аэрометоды», вып. 3. Мат-лы Моск. фил. географ. об-ва СССР, 1969.

Садов А. В. Использование цветной спектральной аэрофотосъемки при изучении селей. В сб. «Вопросы инженерно-геологического дешифрирования материалов аэрофотосъемки». БНТИ, ВИЭМС, 1969, № 4.

Садов А. В., Ермолаева Л. А. Опыт дешифрирования четвертичных отложений Зайлийского Алатау. В сб. «Вопросы геолого-географического дешифрирования аэрофотоснимков». БНТИ, ВИЭМС, 1968, № 1.

Садов А. В., Ермолаева Л. А. Применение аэрометодов при изучении селей. В сб. «Инженерно-геологическое изучение селей». БНТИ ВИЭМС, 1969, № 4.

Садов А. В., Елисеев Ю. Б. Применение материалов аэрофотосъемки при изучении осей в горных районах. В сб. «Вопросы инженерно-геологического дешифрирования материалов аэрофотосъемки». БНТИ ВИЭМС, 1969.

Садов А. В., Елисеев Ю. Б., Ермолаева Л. А. Опыт сравнительной оценки результатов изучения инженерно-геологических условий горных районов по материалам камерального дешифрирования аэроснимков и наземным исследованиям. В сб. «Вопросы инженерно-геологического дешифрирования материалов аэрофотосъемки». БНТИ ВИЭМС, 1969.

Самойлович Г. Г. Применение авиации и аэрофотосъемки в лесном хозяйстве. М., Гослесбуиздат, 1953.

Самойлович Г. Г. Лесное дешифрирование аэроснимков. Краткое пособие. Л., 1959.

Самойлович Г. Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве. М., изд-во «Лесная промышленность», 1964.

Семенова Н. Н. Изучение эрозии почв по аэроснимкам. «Почвоведение», 1959, № 5.

Симонов Ю. Г. Конфигурация равновеликих бассейнов малых эрозионных

форма и ее влияние на течение эрозионных процессов. Сб. «Вопросы эрозии и стока». Изд-во ЛГУ, 1962.

Смирнов Л. Е. Об использовании аэрофотоснимков при изучении и прогнозировании селей. Вести. ЛГУ, 1959, № 24.

Технические указания по использованию аэропленок при аэрофотосъемке для геологических целей. М., ОНТИ ВИЭМС, 1966.

Толчельников Ю. С. Об использовании материалов аэрофотосъемки при почвенных исследованиях. Вести. сельхоз. науки, 1959, № 10.

Трескинский С. А. Предварительная оценка устойчивости горнотаежных склонов при аэровизуальных наблюдениях. «Разведка и охрана недр», 1959, № 8.

Турмания В. И. Использование некоторых морфолого-анатомических особенностей деревьев для индикации склонных процессов. Л., Тез. докл. на III совещ. по фитондикации, 1967.

Турмания В. И. Растительность как индикатор оползней, селей, лавин. Л., Тез. докл. на III совещ. по фитондикации, 1967.

Турмания В. И., Чуйкина Т. С. Пути использования растительности как индикатора оползневых смещений. В сб. ОНТИ ВИЭМС «Ландшафтные методы в гидрогеологии и инженерной геологии», 1966.

Тушинский Г. К. Лавины и защита от них на геологоразведочных работах. М., Госгеолтехиздат, 1957.

Тушинский Г. К. Ледники, снежики, лавины. М., Географгиз, 1963.

Фильник В. А. Исследование аэроснимков для количественной характеристики рельефа. В сб. «Вопросы применения картографических материалов при географических исследованиях». Изд-во АН СССР, 1960.

Херхулидзе И. И. Овражные и селевые выносы. Дориздат, 1947.

Цовян М. В. Типизация безопасных бассейнов Армянской ССР. Мат-лы V Всес. совещ., 1962.

Чалидзе Ф. Н. К вопросу о возможности индикации относительного возраста четвертичных отложений по стадиям сукцессии растительности. Л., Тез. докл. на фитондикации, 1967.

Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М., изд-во «Недра», 1966.

Шарков В. В. Применение аэрометодов при исследованиях четвертичных отложений. В сб. «Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений». Госгеолтехиздат, 1955.

Шарков В. В. Геологическое картирование. В сб. «Аэрометоды изучения природных ресурсов». М., Географгиз, 1962.

Шеко А. И., Моссаковская И. А., Турмания В. И. Временные методические указания по инженерно-геологическому изучению селей. М., 1964.

Янутш Д. А. Мофометрирование как средство дешифрирования аэроснимков. В сб. «Вопросы дешифрирования и фотограмметрической обработки аэроснимков». Изв. АН СССР, 1963.

Becking R. W. Forestry application of aerial colour photography. Photogr. Engng, v. 25, 1959, N 4.

Belcher D. W. Microforms and features. Photogr. Engng, v. 25, 1959.

Boon D. A. Report of Working Group 4 (Interpretation of Vegetation). Commission VII I. S. P. Photogr. Engng, v. 26, N 2, 1960.

Coleman C. I. General summary report of Comission VII (Photographic Interpretation) to the I. S. P. Photogr. Engng, v. 26, 1960, N 2.

Cruzet J. Progress accomplis dans les techniques photographiques de 1956 a 1960. Archives Intern. de Photogram. t. XIII (Congres IX, Londeres, 1960), Argns, Amsterdam, 1961.

Gavrilovič S. Klasificacya bujcinich tokova Grdelicke Klisure i kvantitativni recium njihovik nanosa. Beograd, 1957.

Hoizer H. Geologische Luftbild-interpretation photogeologische karte des raumes randhausberg (Höpe Tauern). Abhandl. Dtsch. Acad. Wiss., Berlin Kl. Bergbau, Huttenwesen and Montageol., 1960, N 1.

Lueder D. K. Aerial photographic interpretation: Principles and application. Mc Craw-Hill Book Company I. N. C., New York, Toronto, London, 1959.

Miller K., Miller, W. Aerophotogeology, New Iork, 1961.

Minard J. P. Color aerial photographs facilitate geologic mapping on the Atlantic coastal plain of New Jersey. Photogr. Engng, v. 26, 1960, N 1.

Roy R. I. Aerial photograps in geologic interpretation and mapping, v. VI. Washington, Govt. Print. Office, 1960.

Sabet A. H. An example of photo interpretation of crystalline rocks. Publ. ITC for aerial survey, Delfa, Series B, 1962, N 14/15.

Schmidt-Kraepelin E. Methodische Fortschritte der wissenschaftlichen Luftbildinterpretation. „Erdkunde“, 1959, N 3.

Sosee S. T. A. Photo-interpretation. Canad. Surveyor. 15. 1960, N 3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловіе</i>	
<i>Глава I. Краткий обзор современного состояния применения аэрометодов при изучении селей</i>	
<i>Глава II. Материалы аэрофотосъемки и требования к ним при дешифрировании селеопасных районов</i>	
<i>Глава III. Особенности дешифрирования основных компонентов геолого-географической среды, влияющей на условия селеобразования</i>	
§ 1. Общие положения	
§ 2. Гидрологические условия	
§ 3. Геоморфологические условия	
§ 4. Геологическое строение	
Породы коренной основы	
Поверхностные отложения	
Тектоника и неотектоника	
§ 5. Гидрогеологические условия	
§ 6. Современные геологические процессы	
Ледники и снежники	
Лавины	
Термокарст	
Солифлюкция	
Выветривание	
Осыпи	
Оползни	
Эрозия	
§ 7. Почвенно-растительные условия	
§ 8. Инженерно-хозяйственная деятельность человека	
<i>Глава IV. Дешифрирование очагов зарождения, участков транзита и аккумуляции селей</i>	
<i>Глава V. Использование цветной спектральной аэрофотосъемки при изучении селей</i>	
<i>Глава VI. Некоторые количественные характеристики для оценки условий селеобразования и возможности их получения по материалам аэрофотосъемки</i>	
<i>Глава VII. Опыт сравнительной оценки результатов изучения условий селеобразования по материалам камерального дешифрирования аэроснимков и наземным исследованиям</i>	
<i>Глава VIII. Аэровизуальные наблюдения при изучении селей</i>	
<i>Глава IX. Организация и методика проведения исследований селеопасных районов с использованием аэрометодов</i>	
Список литературы	

САДОВ АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
АЭРОМЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЛЕНИ

Редактор издательства *А. Н. Панова*,
Техн. редактор *В. В. Максимова*
Корректор *Н. А. Соколова*

Сдано в наб. 26/Х 1971 г. Подп. в печ. 25/1 1972 г.
Т-02370. Формат 60×90^{1/4}. Печ. л. 8.0.
Уч.-изд. л. 8.68. Бумага № 1. Индекс 1-4-1.
Заказ № 1922/2808-2. Тираж 1000 экз. Цена 87 коп.

Издательство «Недра», Москва, К-12,
Третьяковский проезд, д. 1/19.
Типография № 32 Главполиграфпрома, Москва,
Цветной бульвар, 26

3

5

6

11

11

13

18

26

26

30

38

40

44

44

48

51

53

56

59

64

73

76

86

91

98

103

107

110

113

118

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

В издательстве «НЕДРА»
готовится к печати новая книга

ЕМЕЛЬЯНОВА Е. П.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

24 л. 2 р. 65 к.

В книге рассмотрены условия и закономерности, определяющие возникновение, развитие во времени и затухание оползневых процессов, методы прогноза оползней и методы обоснования противооползневых мероприятий, а также оценка эффективности последних. Рассмотрены закономерности, основанные на теоретических соображениях и выводах и вытекающие из фактически наблюдаемых зависимостей и соотношений. В работе использованы исследования автора и разнообразные сведения из русской и зарубежной литературы.

Книга предназначена для специалистов разных профилей, имеющих отношение к проблеме оползней, и в первую очередь для инженеров — геологов, строителей, дорожников и др. Она может служить также методическим пособием для студентов.

*Заказы на эту книгу можно оформить в местных магазинах
книготорга*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

87 коп.

НЕДРА 1972