

Е. А. ТОЛСТЫХ
А. А. КЛЮНИН

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ количественных параметров экзогенных геологических процессов

Е. А. ТОЛСТЫХ,
А. А. КЛЮКИН

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

4459



МОСКВА «НЕДРА» 1984

Толстых Е. А., Ключин А. А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов. — М.: Недра, 1984, 117 с.

Приводится методика измерения количественных параметров селей, оползней, эрозии, выветривания, плоскостного смыва, движения курумов, необходимых для прогнозирования экзогенных геологических процессов и обоснования защитных мероприятий. Книга не имеет аналогов ни за рубежом, ни в СССР. Рассмотрены принципиально новые методы: косвенные, позволяющие проводить измерения за короткие промежутки времени; разовых измерений среднесуточных данных за современное и геологическое время; региональные. Приведены конкретные примеры из практики работ.

Для специалистов производственных и научных организаций; может быть использована в качестве учебного пособия студентами вузов и техникумов.

Табл. 18, ил. 33, список лит. — 38 назв.

Рецензент — чл.-корр. АН СССР П. Ф. Швецов (Ин-т литосферы АН СССР)

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятых XXVI съездом КПСС, и в целом ряде других директивных документов предусматриваются в качестве важнейшей народнохозяйственной проблемы изучение, прогноз экзогенных геологических процессов и защита народнохозяйственных объектов от их вредного воздействия.

Для эффективного изучения, прогноза и обоснования мер борьбы с экзогенными геологическими процессами (ЭГП) необходима организация в государственном масштабе службы режимных наблюдений за проявлениями ЭГП, позволяющей измерять их параметры во времени в любом пространственном диапазоне. Сама организация и функционирование такой службы требуют, в частности, разработки соответствующей методической и технической базы. Данная работа рассматривает измерение различных ЭГП и разработку их универсальной технологической основы в виде комплекса методов.

В основу предлагаемой работы положены многолетние исследования, проводившиеся авторами в горной части Крыма (с 1963 г. и до настоящего времени), а также в Прибайкальской зоне БАМа (1977—1979 гг.). В работе также использован опыт измерений параметров ЭГП на стационаре «Ворон» (юго-восточная часть Крыма).

Целью исследований было получение количественных характеристик ЭГП — выветривания, осыпей, селей, оползней и т. д. При выполнении этой задачи возникла объективная необходимость разработки соответствующих методов измерения и решения комплекса вопросов, связанных с понятием измерения ЭГП. В целом это привело к методике измерения параметров ЭГП, предлагаемой вниманию читателя.

В книге рассматриваются только вопросы измерения параметров ЭГП. Это является первым граничным условием применения данной методики. Строго говоря, толкование результатов измерения относительно тех или иных процессов и обоснованное их использование возможны лишь на основе систем понятий теоретической инженерной геодинамики, которые в этой работе не приводятся. Данная методика разработана исходя из измерения ЭГП на существенно различных по природным условиям территориях Крымских гор и Прибайкалья. С учетом опыта исследований в Карпатах, на Кавказе и в Средней Азии можно считать обоснованной рекомендацию ее применения для любых горных районов. Одновременно это является вторым граничным условием применения методики.

Особое внимание уделялось практичности предлагаемой методики, обеспечению возможности проведения экономически целе-

сообразных и высокоточных измерений параметров ЭГП в разных условиях, в том числе в сложных производственных условиях высокогорья. Работа является завершением определенного этапа исследований и подготовлена в связи с острой потребностью производственных геологических объединений в практических рекомендациях, которые можно использовать во все расширяющихся исследованиях ЭГП и при измерении их параметров, а также при подготовке специалистов.

Выбор отдельных методов измерения кроме создания определенной системы обусловлен в основном личным опытом их применения и достаточной технологической обработкой конкретных методов.

Авторы выражают глубокую благодарность Г. К. Бондарiku и В. В. Кюнтцелю за ценные рекомендации, В. Е. Новикову и М. Л. Васильеву за помощь в процессе полевых и камеральных работ и Т. Н. Толстых за активную помощь при подготовке данной работы к изданию.

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭГП КАК ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ ФОРМАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДИНАМИКИ

В настоящее время идет интенсивный процесс формализации как геологии в целом, так и отдельных ее разделов, в том числе инженерной геологии. Эта общая направленность характерна и для инженерной геодинимики. Во всех областях знаний первым признаком формализации являются объективная необходимость и реализация накопления количественных характеристик, описывающих соответствующие объекты, явления и процессы.

В логике Д. С. Лотте определяет формализацию, во-первых, как выявление структуры мысли, а во-вторых, как символическое ее обозначение. Выявление структуры мысли — это приведение понятий и терминов в логическую систему посредством однозначных определений по правилам формальной логики. В свою очередь, символическое обозначение структуры мысли позволяет заменять вывод какого-либо содержательного предложения выводом соответствующей формулы.

Первый элемент формализации — построение феноменологической системы понятий, точнее ряда систем понятий по качественному подразделению отдельных экзогенных геологических процессов (ЭГП) и их взаимосвязей — в инженерной геодинимики к настоящему времени можно считать в основном завершенным в работах И. В. Попова, Е. М. Сергеева, Г. К. Бондарика, Б. Д. Ломтадзе, Н. В. Коломенского, И. С. Комарова и др.

Второй элемент формализации — символическое обозначение систем понятий — требует, в частности, накопления количественных данных, характеризующих ЭГП и их взаимосвязи. Именно поэтому измерение параметров экзогенных процессов следует рассматривать как один из аспектов формализации инженерной геодинимики.

В настоящее время изучение любых ЭГП неизбежно связано с измерением их параметров. Известны и широко применяются методики измерения параметров при изучении отдельных процессов: оползней (Е. П. Емельянова, Г. С. Тер-Степанян, [5]), селей [12, 16], эрозий (С. С. Соболев) и т. д., а также широкий диапазон методов измерения различных ЭГП. Эти методы освещены в ряде обзоров в СССР и за рубежом.

В работе А. С. Девдариани [3] изложена целостная система взглядов на измерение перемещений земной поверхности, включающая ряд обобщений, связанных с измерениями, и обширный обзор систематизированных методов измерений.

Все экзогенные процессы в целом представляют собой одно общее понятие, что и позволяет выделить раздел науки по их изучению — инженерную геодинамику. Логично определить, что должны быть и объективные основания для существования единой методики измерения параметров ЭГП, несмотря на специфические особенности измерений разных процессов. В данном случае, как и всегда, частное не может заменить общее, и наиболее рациональное решение заключается в целесообразной взаимосвязи частных методик измерений отдельных процессов с общей методикой измерения их параметров. Представляется весьма важной разработка общей методики измерения параметров ЭГП на основе теоретической инженерной геодинамики и частных специфических методик измерения параметров отдельных процессов с учетом теоретических представлений в их изучении. Следует предположить по опыту в других областях знаний, что корректные измерения параметров ЭГП, в свою очередь, должны внести существенный вклад в развитие теоретической инженерной геодинамики. Это в конечном счете и является целью формализации. Понятию формализации соответствуют сформулированные Г. К. Бондариком [2] основные задачи, которые необходимо решить при разработке теории ЭГП. В их числе — выделение и измерение параметров геосистем и процессов.

Определяя экзогенные геологические процессы в качестве объекта измерения, отметим одну их важную особенность, а именно геологический характер. Это неизбежно должно вносить существенную специфику в само понятие «измерение». Если последнее глубоко разработано в точных науках и технике, то этого нельзя сказать об экзогенных процессах. Перенос известных составляющих понятия «измерение» в инженерную геодинамику и геологию вообще является задачей очень важной по значению и творческой по характеру выполнения. При этом неизбежна существенная корректировка применяемых понятий, что, в свою очередь, должно способствовать обогащению научных представлений об измерении в целом. Е. А. Толстых [25] сформулировал некоторые аспекты понятия «измерение» и основы соответствующей методики относительно задач, решаемых в инженерной геодинамике.

МЕТОД И МЕТОДИКА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

В данной работе изложение ведется на двух таксономических уровнях — метода и методики. *Метод — это прием (способ) достижения какой-либо цели, а методика — совокупность методов для систематического, наиболее целесообразного проведения какой-либо работы.* Следует отметить, что методика — понятие более общее по отношению к методу и не должно сводиться к простой совокупности отдельных методов, как и любое общее понятие не сводится к простой сумме частных понятий. Она неизбежно должна включать в себя новые универсальные элементы, позволяющие объединить частные приемы или способы. В целом относи-

тельно понятия «измерение» в любой области знаний, в том числе и при измерении ЭГП, объективна следующая последовательность от частного к общему: элементарная операция и метод (отдельные измерения), методика и методология (обобщения).

Целью этой работы является измерение параметров ЭГП. Для этого применяются методы, включающие в себя отдельные операции. Решение более общей задачи — систематическое и наиболее целесообразное измерение параметров ЭГП — достигается путем применения целостной методики измерения. При этом в каждом методе несмотря на его специфику находят отражение универсальные элементы методики. Логичная взаимосвязь частного и общего составляет основу структуры данной работы и позволяет наиболее эффективно решать на практике поставленные задачи.

Основой всех операций в предлагаемой работе является метод измерения параметров ЭГП. Все возможные методы изучения процессов (измерение — это часть изучения ЭГП) классифицированы в гл. 4. Этой классификацией определено третье граничное условие применения настоящей методики — это только методы измерения параметров ЭГП в естественных условиях. В свою очередь, указанная группа методов классифицирована по ряду признаков (см. гл. 4). Следует отметить важный терминологический аспект, неизбежно возникающий при рассмотрении комплекса методов измерения ЭГП. Практика показала невозможность выбора какого-либо критерия для единой терминологической системы. Поэтому было принято решение, что термин для отдельного метода измерения параметров ЭГП может быть принят на основе любого признака или группы признаков, характеризующих этот метод.

Каждый из методов (см. гл. 5—9) характеризуется определенной суммой операций, позволяющих в конечном итоге достигнуть цели — измерить параметры ЭГП. В этом состоит технологическая проработка методов. В основном последовательность изложения отдельных методов определена по содержательным принципам измерения, лежащим в их основе. Но специфика измерений обусловила целесообразность нарушения такого подхода в отдельных случаях и выделения дендрохронологических методов и методов измерения активности прерывистых ЭГП. Авторы стремились к единообразному изложению технологии всех методов, но это не всегда можно было сделать как вследствие разнообразия методов, так и неодинакового уровня их разработки в настоящее время.

В технике для измерения обычно применяются разные приборы. Применяются они и при измерении параметров экзогенных процессов. Но геологический характер объекта измерения (ЭГП) заставляет предположить, что в ближайшем будущем преобладающее значение при измерении параметров процессов будут иметь методы измерения, а не те или иные приборы. Эти методы (в том числе и содержащиеся в настоящей работе) в своей основе должны опираться на имеющие место в природных условиях проявления ЭГП. Исключительное большинство приемов геологии и гео-

морфологии по определению возраста элементов рельефа, пространственных закономерностей его развития и механизма соответствующих процессов является главной базой для эффективного измерения параметров ЭГП. Опыт работ в области инженерной геодинамики позволяет утверждать, что в любых природных условиях и с необходимой точностью можно провести измерение параметров экзогенных процессов.

В целом предлагаемая методика измерения параметров ЭГП включает: 1) понятие активности ЭГП; 2) систему единиц измерения; 3) методические принципы измерения; 4) систематизированный комплекс методов измерения.

Под параметром понимается величина, характеризующая существенное свойство явления или процесса. В данной работе массово- и энергоперенос в результате экзогенных процессов целесообразно характеризовать только активностью (скоростью), имеющей, однако, несколько разновидностей. Для измерения величины активности (скорости) ЭГП и предназначена настоящая методика.

Международная система единиц измерения СИ введена как предпочтительная во всех областях народного хозяйства. Единицы измерения, используемые в работе, отражают внедрение системы СИ при измерении ЭГП как в формулируемых понятиях, так и в применяемых определениях, терминах и символах.

В предлагаемой системе используются две из основных единиц системы МКС (механические единицы в системе СИ): метр — единица длины ($\dim l = L$), а также дольная ей единица миллиметр; килограмм — единица массы ($\dim m = M$). Кроме того, используется основная внесистемная единица времени — год ($\dim t = T$), которая применена как кратная величина часа, определенного в качестве механической единицы времени.

Далее использованы производные единицы: метр квадратный — единица площади ($\dim S = L^2$); литр — как дольная величина единицы объема ($\dim U = L^3$), причем определение «литр» по решению XII Генеральной конференции по мерам и весам может применяться как специальное название кубического дециметра; плотность — мера массы вещества в единице объема ($\dim \rho = M/L^3$) в дольных единицах; скорость ($\dim V = X/T^{-1}$, где X — любая мера массопереноса или энергопереноса в результате ЭГП, T — время в годах); ускорение ($\dim a = X/T^{-2}$).

В системе СИ скорость определяется как физическая величина, равная первой производной пути по времени. Предложение использовать вместо пути любую меру, характеризующую массово- или энергоперенос в результате ЭГП, относительно системы СИ существенно расширяет понятие скорости. При этом особо следует отметить один частный случай, а именно применение в качестве меры массово- и энергопереноса числа проявлений процессов. Каждое проявление ЭГП является замкнутым процессом, т. е. циклом. В системе СИ число циклов, совершаемых за одну секунду, характеризует периодический процесс и называется частотой. Относительно ЭГП периодический процесс и его частотную характеристи-

ку можно считать частным случаем. А в общем виде частоту следует принять как разновидность скорости, в которой мерой массы и энергопереноса является число проявлений ЭГП.

При измерении параметров ЭГП выявилась объективная необходимость формулировки основных положений, на которых должны базироваться измерения. В предлагаемой методике они выделены в виде методических принципов измерений: теоретической основы, масштабности измерений, дублирования, равнозначности измерений, паспортизации. Целесообразность их применения вытекает в основном из специфики объектов измерений и технологии работ.

Перечисленные элементы методики измерения параметров ЭГП находят отражение во всем систематизированном комплексе методов измерения, предложенных в данной работе. Их имеет смысл использовать и в других возможных методах измерения.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ РАБОТ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

Экзогенные процессы, для которых проводятся измерения, выбор объектов измерения и технология работ приведены в описании каждого конкретного метода, в общих положениях, характеризующих выделенные группы методов (см. гл. 4). Здесь целесообразно остановиться только на тех позициях, которые затрагивают некоторые возможности и особенности применения методики в целом.

Объектом измерения параметров ЭГП [25] может служить любой таксономический уровень районирования ЭГП от частных элементов отдельных проявлений процессов через инженерно-геологические районы и области вплоть до планетарного масштаба (с учетом современных технических средств). Сюда же входят любого рода искусственные сооружения и объекты хозяйственной деятельности человека. Таксономический уровень районирования используется как разработанный аппарат для выделения качественно однородных объектов, для которых только и могут быть обоснованы те или иные измерения. Следует отметить, что районирование не единственный способ выделения качественно однородных объектов. В рамках данной методики объектом измерения параметров ЭГП являются проявления процессов, однородные по одному или ряду признаков. Это не исключает целесообразности измерения параметров ЭГП на отдельных их проявлениях, например уникальных или весьма опасных. Во всех случаях следует иметь в виду, что измерение является частным случаем изучения экзогенных процессов вообще.

Настоящая методика предусматривает очень обширные возможности измерений, в том числе и на так называемых стационарах. В широком понимании стационар означает всякое постоянное учреждение. Исключительно в этом смысле целесообразно толковать понятие *стационара по изучению (и измерению) ЭГП, под которым следует понимать любую территорию (в том числе и*

объекты хозяйственной деятельности человека) с наиболее характерным развитием определенных ЭГП (или уникальных процессов), на которой длительное время проводят периодические измерения их параметров [25].

Величина ЭГП обычно непостоянна во времени. Поэтому наибольший интерес представляют соответствующие периодические, или, как их называют, режимные измерения. При этом под режимом ЭГП следует понимать изменение их величины во времени [25]. Для разных целей большое значение имеют и разовые измерения параметров процессов. Данная методика предусматривает возможность и целесообразность проведения как разовых, так и режимных измерений.

Большое практическое значение имеют: 1) число отдельных измерений (например, число фотоплощадок), 2) их частота и 3) длительность.

1. Число измерений отдельным методом, каждое из которых следует толковать как некоторое случайное значение, определяется в соответствии с известными правилами статистики и теории вероятности, широко применяемыми в инженерной геологии. В целом же конечный результат должен быть известен для каждого доверительного интервала с данной доверительной вероятностью.

2. Частота измерений определяется поставленной целью. Так, например, для выявления факторов ЭГП измерения проводятся возможно чаще, а точнее в соответствии со сменой этих факторов — выпадением осадков, переходами температуры через 0°C и т. д. В то же время для получения среднесуточных данных измерения достаточно проводить раз в год.

3. Длительность измерений носит ограниченный характер при решении конкретной задачи (например, выявлении факторов ЭГП) или для известного предела развития процесса. В то же время для многолетних режимных наблюдений за ЭГП практического опыта в целом не имеется. В определенных границах здесь можно ориентироваться на опыт гидрометеорологических наблюдений.

На этом основании можно рекомендовать два последовательных этапа работ для целей измерения параметров ЭГП.

Первый этап — подготовительный — состоит из двух стадий. Целью его является выявление ЭГП, развитых на изучаемой территории, общая оценка природной обстановки, исходя из которой предположительно можно производить измерения их параметров с учетом предложенного комплекса методов и апробации конкретных методов измерения.

На первой, камеральной, стадии используются данные инженерно-геологической съемки масштаба $1:200\,000$ ($1:100\,000$ — $1:500\,000$) [11], инженерно-геологической съемки масштаба $1:50\,000$ ($1:25\,000$) селе-лавино-оползне-обвалоопасных районов [9] и специального инженерно-геологического обследования территории масштаба $1:200\,000$ ($1:500\,000$) [10]. Дополнительно производится сбор литературных и фондовых материалов об извест-

ных примененных методах измерения ЭГП и результатах измерения. Итогом первой стадии работ является раздел отчета «Состояние и перспективы измерения параметров ЭГП» для данной территории, который включает: 1) краткую характеристику ЭГП; 2) известные сведения о методах измерения параметров процессов и результатах измерений; 3) схему планируемых аэровизуальных и маршрутных обследований территории для предварительного определения объектов и методов измерения параметров ЭГП.

Вторая, полевая, стадия работ проводится с учетом данной методики измерения. Целью ее является выявление на местности объектов измерения — проявлений ЭГП и определение системы возможных методов измерения параметров процессов, исходя из комплекса предложенных методов, а также других возможных методов, которые весьма вероятны в конкретных природных условиях. Однако все новые методы должны иметь содержательную технологическую проработку, соответствующую данной методике. Следует обращать особое внимание на возможность применения разных модификаций предложенных методов измерения в каждой конкретной природной обстановке, поскольку предлагаемая методика является жесткой схемой только в смысле общей ее системы и уровня проработки отдельных методов. Практические возможности измерения параметров ЭГП, как уже указывалось, по мнению авторов, весьма широки, если целенаправленно и творчески использовать богатый арсенал приемов исследований в геологии и геоморфологии и возможности, представленные природной обстановкой, а также ряд предложенных и существующих технических приемов и приборов для измерений.

На второй стадии работ целесообразно совместное использование аэровизуальных и маршрутных обследований, в процессе которых рекомендуется произвести некоторые пробные измерения или отдельные их операции. Например, сделать по одному спилу (или керну дерева возрастным буровом Преслера) наиболее распространенных деревьев для определения возрастных колец; сфотографировать с масштабной накидной сеткой отложения коренных пород на обрывистых склонах с различных расстояний (фиксируя их в дневнике) для оценки возможности различения отдельных частиц на снимках; то же самое на крутых склонах, сложенных грубообломочным материалом, с пробным окрашиванием границ объекта измерения; применить фототеодолитную съемку и фотосъемку с воздуха через телеобъектив; оценить возможности разбивки базисов при стереосъемке фотоаппаратом и фототеодолитом; сделать снимки при разном освещении, фиксируя характер его для соответствующего кадра; оценить возможность просмотра с воздуха предполагаемых русловых створов и т. д. В целом какие-либо пробные операции необходимо сделать для каждого метода. Для облегчения последующего обнаружения намеченных объектов на видных местах делаются отметки (обычно белой краской). Особое внимание следует обращать на доступность планируемых объектов измерений.

Итогом второй, полевой, стадии является раздел отчета «Система планируемых измерений параметров ЭГП» для данной территории, который включает: 1) оценку возможностей применения отдельных методов измерения параметров ЭГП; при этом приводятся результаты пробных измерений или отдельных операций методов; по каждому методу дается краткое заключение о возможности его применения; 2) систему индексации ЭГП и отдельных методов измерения; 3) схему (схемы) размещения планируемых объектов измерения исследуемых проявлений процессов и методов измерения с использованием соответствующих систем индексов; схемы могут быть разных масштабов в зависимости от площади изучаемой территории, но должны отвечать одному главному условию — возможности обнаружения запланированных объектов измерения, для этого на схемах возможны в любой форме отметки о разных ориентирах.

Общим итогом подготовительного этапа работ является отчет «Планируемая система объектов измерения параметров ЭГП».

Второй этап работ — основной. Целью его являются обследование объектов измерения и собственно измерения, включая камеральную обработку данных. Работы на этом этапе проводятся в соответствии с предлагаемой методикой в целом. Практика показывает, что при реализации запланированных работ на втором этапе обычно имеют место по разным причинам те или иные изменения объектов, их числа и даже отдельных методов измерения. Это объясняется в основном большой детальностью работ и трудоемкостью исполнения в сложных производственных условиях высокогорья. Важным элементом этого этапа является планирование рациональных маршрутов (аэровизуальных) и оптимального объема работ по определенным схемам. Для режимных измерений маршруты целесообразно обосновать с учетом затрат времени и строго их выдерживать, если это позволяют производственные условия.

Итогом второго этапа работ является отчет «Система объектов измерения параметров ЭГП», который включает: 1) карту (карты) фактического материала с использованием систем индексации ЭГП и методов измерения; 2) паспорта объектов измерения, объединенные в две части: разовых и режимных измерений; последние предполагают внесение результатов по мере их накопления.

В целом система объектов измерения параметров ЭГП является элементом общей системы опорной сети по изучению режима ЭГП, составленной для определенного региона с учетом теоретического обоснования характера развития разных процессов и их взаимосвязей.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

ПОНЯТИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭГП

Понятие измерения детально разработано в науке и технике. Представляется целесообразным определить его относительно ЭГП.

Любой экзогенный процесс характеризуется величиной, которая является количественной характеристикой этого процесса. Измерением величины ЭГП назовем экспериментальное сравнение данной величины с другой, однородной с ней величиной, принятой за единицу измерения. Единица измерения ЭГП — это конкретное значение величины процессов, принятое за основание сравнения для количественной оценки величины того же рода. Конечно, не всякая величина ЭГП представляет собой практический интерес. В соответствии с известным понятием можно определить, что величина, характеризующая существенное свойство экзогенных процессов, называется параметром ЭГП.

Измерение параметров ЭГП представляет наибольший интерес во временном аспекте, что позволяет оценить динамику развития ЭГП с целью изучения, последующего прогнозирования и обоснования мер борьбы с их вредным воздействием. Это диктует необходимость применения соответствующих единиц измерения, включающих параметры времени. Такими единицами являются скорость и ускорение. Именно их и целесообразно использовать при измерении процессов.

Общим результатом проявления ЭГП, как и любого процесса вообще, является та или иная форма массо- и энергопереноса. Измеряя их во времени, мы будем проводить измерение ЭГП. Таким образом, для измерения экзогенных процессов применим две единицы измерения: 1) скорость с размерностью X/T и 2) ускорение с размерностью X/T^2 , где X — любая возможная мера массо- и энергопереноса с соответствующей размерностью (причем эта величина может быть и безразмерной); T — время.

Составляющие размерности скорости и ускорения (X и T) кроме определения в общем виде требуют более подробного рассмотрения, прежде всего мера массо- и энергопереноса. Экзогенные геологические процессы — это исключительно широкое понятие. Проявление их весьма разнообразно — от ионного обмена в процессе химических превращений в результате, например, выветривания или карстообразования до перемещения грандиозных масс, например оползней или селей. Поэтому объективно при измерении ЭГП может применяться любая мера массо- и энергопереноса, принятая в каждой из используемых областей знаний. В объеме излагаемого материала будут применяться следующие меры массо- и энергопереноса: 1) линейные; 2) объемные; 3) по массе. При этом для скорости и ускорения будут иметь место соответственно сле-

дующие размерности: 1) L/T , L/T^2 ; 2) V/T , V/T^2 ; 3) M/T , M/T^2 . Специфика оценки ЭГП такова, что часто измерения проводятся с привлечением частоты в разном виде. Это — безразмерная величина, но и она является мерой массопереноса, поэтому размерности скорости и ускорения в данном случае примут упрощенный вид, а именно $1/T$ и $1/T^2$.

Анализ времени является важнейшим элементом геоморфологических исследований [30]. Поэтому особого рассмотрения при измерении ЭГП требует мера времени. Это обусловлено спецификой их проявления во времени: от промежутков в секунды или минуты (например для обвалов или снежных лавин) до миллионов лет (например при осыпании с обрывов или развитии карста). Кроме того, процессы могут проявляться только в определенные периоды года, и собственно измерения проводятся по разным причинам (специально или по необходимости) в разные отрезки времени. Для того чтобы сравнивать количественные оценки согласно определению единицы измерения параметров ЭГП, должна быть строго определена мера времени.

А. С. Девдариани [3] в качестве универсальной единицы времени при измерении перемещений земной поверхности предлагает принять год. При этом не исключаются более мелкие единицы, такие, как сутки, час, минута, секунда. Этот подход наиболее целесообразен и при измерении ЭГП. Взяв год за универсальную единицу времени, использовать ее необходимо точно так же, как это обычно делается во всех областях знаний, т. е., применяя скорость как количественную оценку процесса и год как единицу времени, будем считать, что независимо от времени реально протекающего процесса и фактического времени измерения мерой экзогенных процессов будет такая величина массопереноса в результате ЭГП, как если бы этот процесс продолжался в течение года. Для вычисления скорости ЭГП V предложим формулу

$$V = X \cdot t' / t, \quad x/\text{год}, \quad (1)$$

где X — величина массопереноса в результате ЭГП за время измерения; t — время измерения в любых единицах; t' — число единиц измерения времени в году; x — размерность величины массопереноса.

Например, при фактическом измерении величины ЭГП с использованием времени в днях t за любой промежуток будет иметь место частный случай [10]

$$V = X \cdot 365 / t, \quad x/\text{год}. \quad (2)$$

Пример результатов оценки скорости денудации с временной единицей «год» для любых отрезков времени измерения показан на рис. 1. При этом скорость денудации откладывается на вертикальной оси графика и означает, как это указывалось выше, что если бы денудация с такой скоростью для каждого отрезка времени измерения продолжалась в течение года, то было бы снесено количество материала, равное абсолютной величине скорости денудации. Практически величина скорости имеет физический

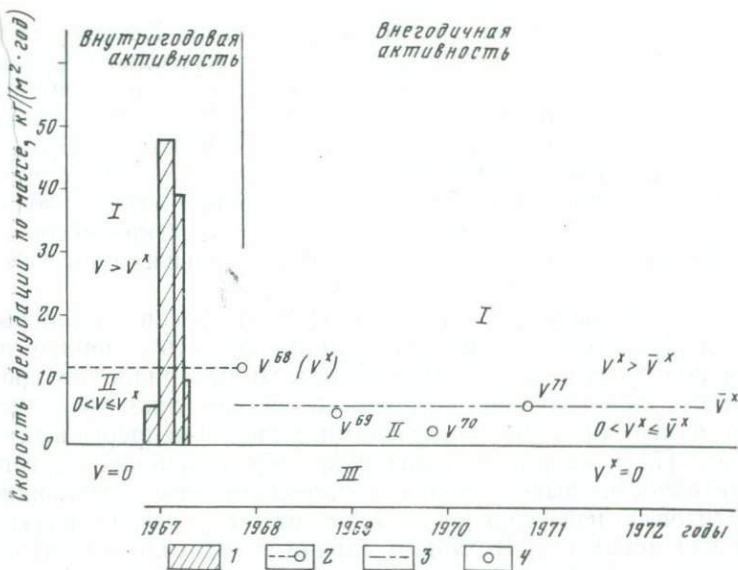


Рис. 1. Активность условно-непрерывных ЭГП.

1 — условно-мгновенная скорость V ; 2 — годовая скорость V^x ; 3 — среднеегодовая скорость $\bar{V}^x$; 4 — точки наблюдений. Зоны активности ЭГП: I — высокая активность; II — умеренная активность; III — активность отсутствует

смысл исключительно для интервала времени измерения. Применение скорости как единицы измерения позволяет сравнивать величины ЭГП, измеренные за любой промежуток времени.

ПОНЯТИЕ АКТИВНОСТИ ЭГП

Применение терминов «скорость» и «ускорение» не всегда удобно и привычно при количественной оценке ЭГП. В то же время известны и широко применяются термины «активность» и «активизация». Целесообразно придать им строгий физический смысл и использовать в качестве синонимов соответственно для скорости и ускорения ЭГП. Таким образом, активностью (скоростью) будем характеризовать приращение массо- или энергопереноса в результате ЭГП за единицу времени, а активизацией (ускорением) — приращение активности (скорости) ЭГП за единицу времени.

ЭГП целесообразно подразделить по характеру проявления на условно-непрерывные и прерывистые [25]. Такое подразделение обусловлено различной динамикой их развития.

К условно-непрерывным относятся процессы, динамика развития которых определяется в основном замкнутым годичным циклом факторов ЭГП и, кроме того, более крупной внегодичной

циклическостью, связанной с теми же факторами. Поэтому условно-непрерывные ЭГП неизбежно проявляются ежегодно и резко усиливаются периодически в соответствии с объективно проявляющимися природными внегодичными циклами. К условно-непрерывным процессам относятся: выветривание, солифлюкция, эрозия, абразия и т. д., а также большинство криогенных процессов, поскольку их проявление связано с годичным циклом определяющих их факторов. Так как в течение года развитие этих процессов происходит неравномерно, то можно выделить активность внутригодовую и внегодичную (см. рис. 1).

Для оценки внутригодовой активности условно-непрерывных ЭГП используется условно-мгновенная скорость — первая производная количества затронутого процессом материала по времени. Выявление внутригодовой активности на практике проводят возможно более частыми измерениями условно-непрерывных ЭГП. В работе [7] и на рис. 1 показан пример выявления внутригодовой активности выветривания неморозостойких разновидностей нуммулитовых известняков на обрывистых участках внутренней гряды Крымских гор. В данном случае внутригодовая активность приурочена к зимнему сезону, поскольку причиной выветривания является исключительно замораживание-оттаивание (так называемое морозное выветривание). В летний период активность выветривания близка к нулю. В то же время, например, в условиях Прибайкалья сезонная приуроченность активности выветривания на обрывистых участках будет носить другой характер: проявляться в основном в весенний период.

Для оценки внегодичной активности условно-непрерывных ЭГП предлагается использовать годовую скорость V^x — количество затронутого процессом материала в течение года. Эта единица имеет физический смысл только по отношению к каждому конкретному году, что выражается в символике V^x , где x — год измерения, записываемый в виде двух последних цифр, например V^{79} (см. рис. 1). Годовая скорость ЭГП определяется или в процессе ежегодных измерений, или как сумма результатов внутригодовых отсчетов.

К прерывистым относятся процессы, проявление которых определяется в основном внегодичной циклическостью изменяющихся факторов. Поэтому при их оценке ведущим является понятие внегодичной активности. Однако к этим процессам (в определенной степени) применимо понятие внутригодовой активности, хотя она и имеет другой физический смысл, а точнее представляет собой большую предрасположенность к проявлению ЭГП в определенные периоды года, которая выражается в большей вероятности проявления прерывистых ЭГП в эти периоды. Например, в работе [32] определена внутригодовая активность селей для разных районов территории СССР. Таким образом, активность прерывистых ЭГП также можно классифицировать на внегодичную и внутригодовую. К прерывистым процессам относятся: оползни, сели, обвалы и т. д. В ка-

честве основной количественной характеристики для оценки прерывистых ЭГП предлагается использовать частоту разного вида. Внегодичная активность на отдельных проявлениях ЭГП оценивается частотой ν , представляющей собой отношение числа проявлений соответствующего процесса ко времени между измерениями. Такие данные на отдельных формах проявления ЭГП можно получить только за весьма длительный отрезок времени или по следам воздействия процессов. Последнее используется, например, в дендрохронологических методах определения частоты селей по сбитостям.

Для характеристики внегодичной активности прерывистых ЭГП можно использовать понятие годовой частоты, что означает число проявлений ЭГП в данный конкретный год. Имеют место: 1) годовая частота к площади ν^x_s — отношение числа проявлений данного процесса за год измерений к площади, на которой проводились измерения; 2) годовая частота к линии ν^x_l — отношение числа проявлений данного процесса за год измерений к длине объекта, на котором проводилось измерение; 3) годовая частота ν^x_n — отношение числа проявлений данного процесса за год измерений к возможному числу проявлений, например отношение числа селевых бассейнов, в которых прошли сели в данном году, к общему числу селевых бассейнов. Последний параметр ν^x_n широко использован, например, в работе [32].

44544
Для оценки внутригодичной активности прерывистых ЭГП необходимо внести единицы измерения, отражающие приуроченность измерений к определенным отрезкам времени. Ими могут быть сезон или месяц. Это легко отразить в символике единиц измерения, введя внутригодичную меру времени, например y — месяц. Тогда соответствующие единицы частоты в общем виде будут выглядеть так: ν^y , ν^{xy}_s , ν^{xy}_l , ν^{xy}_n или для конкретного года и месяца: ν^y , ν^{79y}_s , ν^{79y}_l , ν^{79y}_n .

Опираясь на определение понятия активности ЭГП и введенные единицы измерения процессов, определим теперь формализованные критерии оценки активности.

Для условно-непрерывных ЭГП выше были выделены понятия внутригодичной и внегодичной активности (см. рис. 1). Ввиду качественного отличия этих понятий из-за различной цикличности определяющих факторов развития ЭГП для них будут различаться и критерии оценки активности.

Для внутригодичной активности условно-непрерывных ЭГП имеют место два объективных критерия: 1) наличие или отсутствие процесса; 2) соотношение условно-мгновенной скорости в каждый данный момент (реально за время между двумя измерениями) с годовой скоростью, характерной для данного годового цикла. Исходя из этих критериев, выделим три степени внутригодичной активности условно-непрерывных ЭГП (см. рис. 1): 1) активность отсутствует, когда условно-мгновенная скорость равна нулю, $V=0$; 2) умеренная активность, когда условно-мгновенная скорость больше нуля, но меньше или равна годовой скорости

$0 < V < V^x$; 3) сильная активность, когда условно-мгновенная скорость превышает годовую скорость $V > V^x$. Для более дробного подразделения можно использовать критерии, кратные годовой скорости, например $2V^x$, но они в отличие от предложенных выше будут иметь условный характер, что, впрочем, не исключает возможности их применения.

Формально может быть использован еще один критерий для оценки внутригодовой активности условно-непрерывных ЭГП — среднемноголетняя скорость процесса. По соотношению с ней условно-мгновенной скорости возможно дополнительное, более дробное выделение степени активности. Но, как уже было сказано, внутригодовой активностью предложено характеризовать проявление условно-непрерывных ЭГП внутри каждого года. Поэтому представляется нелогичным сравнение этих данных со среднемноголетними сведениями. Таким образом, для характеристики внутригодовой активности условно-непрерывных ЭГП остановимся на трех указанных выше степенях активности.

Для внегодичной активности условно-непрерывных ЭГП имеют место два объективных критерия: 1) наличие или отсутствие процесса; 2) соотношение конкретной годовой скорости со среднемноголетней скоростью данного процесса. Исходя из этих критериев, выделим три степени внегодичной активности условно-непрерывных ЭГП (см. рис. 1): 1) активность отсутствует, когда годовая скорость равна нулю $V^x = 0$; умеренная активность, когда годовая скорость больше нуля, но меньше или равна среднемноголетней скорости данного процесса $0 < V^x \leq \bar{V}^x$; 3) сильная активность, когда годовая скорость больше среднемноголетней скорости данного процесса $V^x > \bar{V}^x$.

Относительно первой степени внегодичной активности рассматриваемых ЭГП следует сделать одно корректирующее замечание. Активность условно-непрерывных процессов в большинстве случаев проявляется ежегодно, поэтому ее отсутствие ($V^x = 0$) следует, видимо, рассматривать не как правило, а как исключение. Тем не менее данную систему оценки степени активности можно считать целесообразной в связи с универсальностью применения ее как для внутригодовой, так и внегодичной активности условно-непрерывных ЭГП. Аналогичный аппарат применяется и для формализованной оценки активности прерывистых ЭГП.

СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

Общие положения. Выше было определено, что измерение ЭГП в данной работе производится исключительно во временном аспекте, а именно оценка активности ЭГП дается в единицах скорости. Кроме того, ЭГП были классифицированы по характеру их проявления на условно-непрерывные и прерывистые, причем объективно для оценки активности первых целесообразно использовать единицы собственно скорости, а для вторых — единицы частоты. В результате условно-непрерывных ЭГП на склонах может

Системы единиц скорости ЭГП

ЭГП по характеру проявления	Системы единиц скорости ЭГП	
Условно-непрерывные	Собственно скорость	
	Скорость отступления (повышения) поверхности	Скорость смещения по поверхности
Прерывистые	Частота	

иметь место отступление (повышение) поверхности или смещение материала по поверхности. Это дает возможность предложить целостную классификацию систем единиц скорости при измерении ЭГП (табл. 1), которая и будет предметом дальнейшего рассмотрения.

Система единиц скорости при измерении отступления (повышения) поверхности склонов. В данной системе единиц измерения оценка отступления или повышения поверхности в результате ЭГП будет отличаться только знаком. Поэтому ниже для краткости все рассуждения будут вестись относительно сноса материала, но с противоположным знаком. Они справедливы и относительно накопления материала.

При формировании данной системы единиц измерения ЭГП необходимо сразу определить, что в процессе сноса материала со склонов физическая реальность значения не имеет. Фактически снос может происходить в результате плоскостного смыва, осыпания, дефляции и т. д. В любом случае в системе единиц измерения будет принимать участие обобщенная величина массопереноса в результате ЭГП, выражаемая в обобщенном отступании поверхности склона. Иными словами, в любой точке вне зависимости от крутизны склон отступает параллельно своей поверхности (рис. 2).

Используя известное определение скорости денудации [7, 21], придадим ему общий смысл относительно любых ЭГП, приводящих к отступанию поверхности склонов. Тогда в общем виде под скоростью ЭГП будем понимать первую производную величины, характеризующей массоперенос при отступании поверхности склона в результате ЭГП, по времени. В качестве меры массопереноса будем использовать: отступление поверхности (линейные единицы), объем материала, сносимого с удельной поверхности (объемные единицы), и массу материала, сносимого с удельной поверхности (единицы по массе). В результате будет иметь место система единиц скорости ЭГП по характеру проявления, включающая три вида скоростей: линейную V_l мм/год; объемную V_o , л/(м² × год) и по массе V_m кг/(м² · год) [7].

Классифицируя единицы измерения скорости ЭГП на экспериментальные и вычисляемые, отметим, что в практике измерений

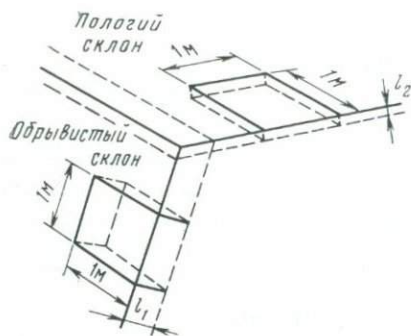


Рис. 2. Схема сноса материала с поверхности склонов (для системы единиц скорости при отступании поверхности).

l_1 , l_2 — отступление поверхности соответственно для обрывистого и пологого склонов



Рис. 3. Схема смещения материала по склону для системы единиц скорости относительно удельного отрезка длиной 1 м, нормального к направлению движения.

h — мощность смещаемого слоя; l — величина смещения материала по склону; l — вертикальная составляющая смещения материала по склону; l — горизонтальная составляющая смещения материала по склону; α — крутизна склона

могут встречаться любые из указанных первичные (экспериментальные) виды скоростей. Тогда остальные определяются вычислением. Для этого необходимо использовать соотношения с учетом плотности пород ρ , г/см³ [10]:

$$V_0 = V_m / \rho; \quad (3)$$

$$V_l = |V_m / \rho|. \quad (4)$$

В работе [3] указывается ряд авторов, использовавших плотность пород при пересчете линейных, объемных и по массе единиц измерения процессов. При этом отмечается необходимость измерения плотности в естественном залегании.

Из практических соображений в рекомендуемой системе кратность и доляность величин в размерностях подобраны таким образом, что абсолютные величины линейной и объемной скоростей равны, т. е. отступление поверхности на 1 мм соответствует сносу 1 л материала с 1 м² поверхности. Очевидно, что наиболее удобной величиной для скорости сноса по массе является кг/(м²·год). На рис. 2 отмечены удельные площадки в 1 м², относительно которых определяют объемные и по массе скорости отступления склонов.

Система единиц скорости при измерении смещения материала на склонах. При формировании данной системы единиц определим, что вначале рассмотрение будет вестись без учета реальных процессов, приводящих к смещению материала. В системе единиц измерения принимается во внимание только обобщенная величина массопереноса в результате ЭГП, приводящая к общему смеще-

нию материала на поверхности склонов без учета повышения или понижения поверхности (рис. 3).

Классифицируем скорости смещения ЭГП по характеру единиц измерения аналогично системе единиц измерения отступления поверхности, но с другой векторной направленностью, выделив в данной системе по характеру единиц измерения три вида скоростей: линейную V_l , мм/год; объемную V_o , л/(м·год) и по массе V_m , кг/(м·год). Линейная скорость смещения — первая производная пути, пройденного материалом по падению склона, по времени. Объемная скорость смещения — первая производная объема материала, смещенного по падению склона на удельном отрезке, нормальном к падению склона, по времени. Скорость смещения по массе — первая производная массы материала, смещенного по падению склона на удельном отрезке, нормальном к падению склона, по времени. Для указанных скоростей справедливы следующие связи с учетом мощности смещаемого слоя h (в м) и плотности пород ρ (г/см³)

$$V_o' = V_l \cdot h; \quad (5)$$

$$V_m' = V_o' \cdot \rho. \quad (6)$$

В целом измерение любой из указанных скоростей равнозначно — достаточно измерения одной, чтобы вычислить остальные.

Объективна еще одна система единиц измерения скорости смещения материала на склонах по характеру единиц измерения. При этом за основу берется не удельный отрезок, нормальный к направлению движения материала, а удельная площадь смещаемого слоя, нормального к поверхности. В этой системе в целом применимы приведенные выше виды скоростей и, кроме того, совпадают линейные скорости смещения материала V_l (мм/год). Но объемная и по массе скорости будут иметь другую размерность: V_o — л/(м²·год) и V_m — кг/(м²·год). Связь между ними определяется уравнением $V_m = V_o \cdot \rho$, что позволяет получать одну скорость из другой. В этой системе примененная кратность величин в размерностях также позволяет приравнивать абсолютные величины линейной и объемной скоростей, т. е. $|V_l| = |V_o|$. В целом характер выражения скоростей в данной системе, размерность и уравнения связи совпадают с системой, предложенной для оценки скоростей отступления поверхности склонов, но имеют совершенно иной физический смысл. Эта система характеризует смещение материала на поверхности склонов в любой точке, но в направлении движения материала без отступления поверхности. И только в предельном случае выклинивания смещаемого слоя к какому-либо базису сноса материала с обнаженного смещаемого слоя объективно может совпадать техника измерения скорости ЭГП, например методом площадок-ловушек.

Скорость — векторная величина, и для единиц измерения смещения материала было взято направление по падению склона. Следует отметить, что у этой величины есть горизонтальная и вер-

тикальная составляющие и их соотношение будет существенно разниться в зависимости от крутизны склона. По направленности скорости смещения можно классифицировать на три вида: по падению склона, вертикальные и горизонтальные.

Определение вертикальной и горизонтальной скоростей смещения, хотя и очевидно, что они носят условный характер, формируется аналогично изложенному выше, например: линейная скорость смещения по вертикали $\downarrow V_l$ — первая производная пути, пройденного материалом на склоне по вертикали, по времени. Для вертикальной скорости смещения приняты символы: $\downarrow V_l$, $\downarrow V_o$, $\downarrow V_m$; для горизонтальной — $\vec{V}_l$, $\vec{V}_o$, $\vec{V}_m$.

Связь между скоростями смещения по падению склона и скоростями смещения по вертикали с учетом крутизны склона α выражается в виде

$$\downarrow V_l = V_l \cdot \sin \alpha; \quad (7)$$

$$\downarrow V_o = V'_o \cdot \sin \alpha; \quad (8)$$

$$\downarrow V_m = V'_m \cdot \sin \alpha. \quad (9)$$

Связь между скоростями смещения по падению склона и скоростями смещения по горизонтали выражается в виде

$$\vec{V}_l = V_l \cdot \cos \alpha; \quad (10)$$

$$\vec{V}_o = V'_o \cdot \cos \alpha; \quad (11)$$

$$\vec{V}_m = V'_m \cdot \cos \alpha. \quad (12)$$

Связь между скоростями смещения по вертикали и скоростями смещения по горизонтали выражается в виде

$$\downarrow V_l = \vec{V}_l \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (13)$$

$$\downarrow V_o = \vec{V}_o \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (14)$$

$$\downarrow V_m = \vec{V}_m \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (15)$$

Измерение любой из указанных скоростей равнозначно. Достаточно измерения одной, чтобы вычислить остальные.

Анализ классификации скоростей и зависимостей, приведенных выше, позволяет сделать вывод, что любая по характеру единица измерения скорости смещения материала на склоне может быть выражена в виде любой по направленности единицы измерения скорости смещения материала на склоне и наоборот.

В практике скорость смещения измеряется различными методами, и при этом непосредственно определяются разные скорости (линейные, объемные и по массе). Например, методами прокрашенных створов, фототеодолитных склоновых площадок, дендро-экранов измеряется линейная скорость смещения, а методом траншей-ловушек — скорость смещения по массе. Аналогичное положение имеет место и для единиц измерения скорости смещения с

Система расчетных связей скоростей смещения материала в результате ЭГП

экспериментальные (одна—любая)	Скорости смещения				
	вычисляемые				
	по характеру единиц измерения			по направленности единиц измерения	
	линейные	объемные	по массе	по падению склона	вертикальные горизонтальные

разной направленностью (по падению, вертикальные, горизонтальные). Так, например, при сравнении разновременных аэрофотоснимков определяется горизонтальная (в плане) скорость смещения, а скорости по падению склона и вертикальная вычисляются. Поэтому указанные единицы скорости объективно классифицируются на экспериментальные и вычислительные.

Для разных по характеру единиц измерения скоростей достаточно одной экспериментально определенной, чтобы, используя мощность h и плотность смещаемого слоя ρ , вычислить остальные. Для разных по направленности скоростей также достаточно одной экспериментально определенной, чтобы, используя крутизну склона α , вычислить остальные. В целом приведенные классификации скоростей и зависимости (5) — (15) предполагают, что достаточно одной экспериментально определенной скорости смещения материала, чтобы вычислить остальные. Это отражается в классификации (табл. 2), составленной с учетом метода систем расчетных связей [22, 27].

Выше отмечалось, что система единиц скорости смещения материала на склонах формируется вне зависимости от действительного характера смещения материала на склонах. Дается лишь обобщенная скорость смещения.

Особого рассмотрения требует один частный случай. В курумах, представляющих собой чехол грубообломочного материала на крутых склонах, реально происходит смещение только отдельных обломков, а общее смещение курумов является результатом смещения отдельных обломков [23]. Это дало основание ввести понятие среднего смещения любого обломка Δl , которое составляет [23]:

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n l_i / N, \quad (16)$$

где l_i — величины смещения отдельных обломков на измеряемой площади; N — общее число обломков на измеряемой площади, включая неподвижные.

В то же время среднее смещение любого обломка Δl — это то же самое, что смещение всего чехла обломков и курума в целом,

поскольку наиболее активным из них является верхний слой. Таким образом, от измерения смещения отдельных обломков можно обоснованно перейти к оценке смещения всего чехла грубообломочного материала на склонах, но при этом вычисление вести с учетом обломков, оставшихся неподвижными, т. е. оперировать понятием среднего смещения любого обломка Δl . Переход к скорости смещения проводится по уравнениям (1), (2).

Следует отметить, что известные измерения скорости смещения курумов в десятки сантиметров и даже метры в год являются резко завышенными именно из-за того, что за скорость смещения курумов принималась скорость смещения отдельных обломков. При этом не учитывались обломки, оставшиеся неподвижными, а последние явно преобладают в общем числе обломков. Корректные измерения скорости смещения курумов методами покрашенных створов и фототеодолитных склоновых площадок, в которых использовалось понятие среднего смещения любого обломка, или смещение всего чехла обломков, дали иной результат. Скорость смещения курумов оказалась весьма низкой и не превышает 1 мм/год, а скорее всего составляет доли миллиметра в год. Хотя проведенный объем измерений пока очень мал, но и он позволяет сделать новый качественный вывод о скорости движения курумов; в инженерном смысле курумы неподвижны [29]. Отметим, что в пользу такого вывода говорит и ряд других признаков. Это резко меняет сложившееся представление о курумах как активном экзогенном процессе.

Система единиц частоты для измерения активности прерывистых ЭГП. Для прерывистых ЭГП факт их проявления (прохождение селей, подвижка оползня, обвал и т. д.) является одной из возможных и эффективных мер оценки массопереноса. Относительно этой меры понятие активности прерывистых ЭГП имеет статистический смысл, т. е. измерений единичных проявлений процессов должно быть достаточно много. В качестве меры времени для оценки активности прерывистых ЭГП целесообразно принять универсальную единицу измерения — год. Тогда мерой активности прерывистых ЭГП будет являться одна из возможных разновидностей скорости, а именно частота ν , имеющая размерность год^{-1} , которая в общем виде представляет собой отношение числа проявлений прерывистых ЭГП n к общему числу наблюдаемых объектов z за время t (в годах):

$$\nu = n/z \cdot t. \quad (17)$$

Данная единица измерения универсальна и более практична, чем известная оценка частоты, например частота селей один раз в 10—15 лет и т. д.

Измерение числа проявлений прерывистых ЭГП может производиться на некотором множестве объектов наблюдения z и на единичном объекте, когда $z=1$. Тогда уравнение (17) примет вид: $\nu = n/t$. В обоих случаях данные по проявлению прерывистых ЭГП могут быть получены в результате многолетних режимных наблю-

дений методами, которые будут рассмотрены в гл. 9, или при восстановлении рядов проявлений ЭГП самыми разными способами, например дендрохронологическими методами (см. гл. 8).

Для частоты ЭГП к площади S и линии L также целесообразно применить универсальную временную единицу «год», и тогда тоже будет иметь место величина, являющаяся разновидностью скорости. Например, частота к площади ν_S будет описана уравнением $\nu_S = n/(S \cdot t)$. Принимая при этом наиболее целесообразную размерность для площади S км², общая размерность ν_S будет определена как км⁻²·год⁻¹. Аналогично для временной частоты к линии ν_L справедливо $\nu_L = n/(L \cdot t)$, км⁻¹·год⁻¹.

Каждое из этих уравнений позволяет вычислить соответствующую частоту за любой промежуток времени измерения, и в рамках этой частоты получить целое число или десятичную дробь — универсальную меру активности прерывистых ЭГП, наиболее удобную, в том числе и для сравнения при исследовании разных регионов.

Глава 3

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА

При любых измерениях ЭГП необходимо применение теоретической основы [25]. Содержание ее выражается двумя положениями: 1) обоснованное выделение объекта измерения — определенного экзогенного геологического процесса; 2) применение корректного метода измерения ЭГП.

Первое положение выполняется только при использовании всей инженерной геодинамики, точнее тех или иных теоретических направлений в исследовании ЭГП, но рассмотрение этих вопросов не входит в задачу данной работы.

Выполнение второго положения обеспечивается применением предлагаемой методики измерения ЭГП, во всем ее объеме — от обобщений до конкретных методов измерения.

МАСШТАБНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Целесообразно ввести принцип масштабности измерений, сущность которого заключается в необходимости учета масштаба измерения (величины области измерения) как физической реальности любых измерений экзогенных процессов и соответственно факторов их развития [25].

Ранее при изучении горных пород было предложено фиксировать масштабы измерения и вводить одноименные свойства при каждом из выделенных масштабов измерения [27]. Этот подход применим по отношению к экзогенным процессам, т. е. объективно имеют место одноименные их параметры при разных масштабах измерения. Такая операция становится возможной как следствие принципа относительности измерений — для условий несплошных сред свойства вещества имеют физический смысл относительно определяющих областей измерения.

Свойства вещества с увеличением области измерения меняются постепенно (в частном случае являются постоянными) только в определенных интервалах, а с некоторых значений происходит скачкообразное их изменение. Интервалы, на которых происходит постепенное изменение свойств вещества, соответствуют условиям сплошных сред. С учетом скачкообразных изменений свойств вещества имеют место условия несплошных сред.

Понятие определяющей области измерения исходит из следующих положений: 1) для каждой из областей имеет место определенная феноменологическая причина, обуславливающая качественную идентичность отдельных измерений свойств; в этом понятие определяющей области измерения соответствует понятию уровня организации вещества; 2) свойства вещества в пределах каждой определяющей области измерения представляют собой функцию, характеризующуюся некоторым распределением; математическое ожидание этой функции непрерывно в пределах каждой области измерения и, наоборот, характеризуется разрывом при переходе к другой области измерения; 3) размер определяющих областей измерения соответствует понятию, вкладываемому в каждую из них; размер проб должен включать достаточно большое число элементов, обуславливающих несплошность среды, т. е. соответствовать понятию эффективной неоднородности.

Таким образом, понятие масштаба измерения раскрывается через понятие определяющей области измерения в условиях несплошных сред. Такой подход в определенной степени соответствует исследованиям на разном таксономическом уровне изучения.

При измерении параметров ЭГП, а также интерпретации этих измерений целесообразно использовать концепцию несплошных сред (дискретных, прерывистых и т. д.), представляющую собой решение, более общее относительно известного аппарата сплошных сред и альтернативное относительно исследований неоднородностей. Концепция основана на анализе и обобщении объективных реальностей материального мира, а именно объективного наличия разных уровней организации и развития вещества понимается любая качественная определенность вещества и его развития, в том числе горных пород и стадий экзогенных геологических процессов. Основой концепции несплошных сред являются свойства несплошности среды и закономерность кратности несплошных сред. Свойство несплошности среды в веществе и в его развитии проявляется объективно в сравнении

свойств вещества при частных (простых) и общих (сложных) определяющих областях измерения таким образом, что оно в частных случаях полых или заполненных элементов несплошности среды (разрывов сплошности) подчиняется правилу $x \neq X$, где x , X — любые одноименные свойства вещества при соответственно частных и общих определяющих областях измерения. В общем случае частичного заполнения элементов несплошности среды это свойство справедливо при нарушении системы равенств $x = X$, $y = Y$, где y , Y — соответствующие другие одноименные свойства. Закономерность кратности несплошных сред заключается в четырехкратном и двукратном изменении определяющих областей измерения вещества (и уровней организации вещества) в ряду от частного (простого) к общему (сложному) или от общего к частному в интервале от одного до другого предельного состояния (или возвращения к первоначальному состоянию).

В дополнение к принципу относительности (см. выше) измерений может быть сформулирован принцип причинности — разность одноименных свойств вещества и его развития обусловлена определенной причиной. Мера этой причины — мера несплошности среды — может принять конкретную форму в виде абсолютной величины $G = x - X$ или относительной величины $N = (x - X)/x$ и ее коэффициента $E = (x - X)/X$ с очевидной связью $N = 1/E$, а также отношением $A = x/X$. Мера несплошности среды (параметр несплошности среды) имеет смысл как количественная мера качества, которая выражается в степени отличия одной качественной определенности от другой — общей от частной или наоборот.

Применение концепции несплошных сред при изучении и измерении экзогенных геологических процессов требует учета ряда свойств несплошных сред: 1) устойчивости — любые уровни организации и развития вещества обладают определенной устойчивостью, что дает возможность выделять их как качественную определенность, например тот или иной экзогенный процесс и его стадии; 2) конечности — любые материальные объекты и развитие вещества (процессы) конечны, что позволяет проводить измерения параметров ЭГП в строго определенных граничных условиях; 3) относительности понятия несплошных сред, что вытекает из сравнения одного уровня организации или развития вещества с другим (частного с общим или наоборот) и, следовательно, понятие «несплошная среда» определяется относительно любого из них, принимаемого (условно) за сплошную среду; 4) соответствия — каждой определяющей области измерения соответствует равный ей по порядку элемент несплошности среды, который и является мерой ее качества (в сравнении с другой частной или общей областью измерения), например отличия стадии основного смещения оползня от стадии стабилизации.

При измерениях следует учитывать две универсальные элементарные модели несплошных сред: 1) иерархическую (или масштабную), включающую сплошную среду (частную определяющую область измерения), элемент несплошности среды (полый,

заполненный или частично заполненный) и граничную область, имеющую физический смысл области контакта, взаимодействия; при этом следует иметь в виду, что внутри каждой области измерения изменение происходит по элементам несплошности среды, а внешние взаимодействия происходят по граничной области (например, коре выветривания) при относительной инертности среды; 2) модель процесса, которая, как целое, включает два частных элемента — интервал непрерывного течения процесса (сплошная среда) и скачкообразное изменение (разрыв сплошности); в интервале от одного до другого предельного состояния (от начала до конца) для любого процесса объективно выделяются стадии — зарождение, развитие, зрелость, старение.

Экзогенные процессы изучаются (и соответственно измеряются их параметры) на любом таксономическом уровне — от молекулярного (например, при изучении химических изменений в коре выветривания) до регионального (например, при определении денудационного среза отдельных горных стран) и глобального (например, при определении денудации с поверхности суши Земли). Таким образом, в соответствии с изложенным выше фиксируются масштабы измерения и вводятся одноименные параметры процессов для каждого таксономического уровня их изучения.

В данном случае целесообразно использовать следующие измерения и соответствующие определяющие области [15]: образец 10^{-2} — 10^1 см, массив 10^1 — 10^3 см и геологическое тело 10^3 — 10^6 см.

Данные границы определяющих областей измерения являются условными, но сами определяющие области измерения дают достаточно строгий физический смысл, из которого более правильно определять эти границы. Так, в образце горные породы не имеют трещин, а в массиве породы рассматриваются вместе с трещинами [27]. Под геологическим телом понимается, например, склон естественный или техногенный. Очевидно, что скорость выветривания, измеренная на образцах, не имеющих трещин, и скорость в массиве с трещинами будут резко различаться (разными будут и размеры продуктов выветривания). Аналогичные примеры можно привести и для других процессов — эрозии, карста и т. д.

Измерение величин денудации на небольших участках методом площадок-ловушек или фотометодом на отдельных видах денудационных склонов является измерением в массиве. В то же время одноименные измерения денудации методом овражных уловителей или методом нивелировок селевых конусов выноса — это измерения в геологическом теле. По-видимому, отождествление данных, полученных при разных масштабах измерений, необоснованно. Для разных целей сравнение или использование одного из них обычно необходимо, например для мотивированного распространения результатов измерений на территорию, большую, чем объект измерения. Обоснованность таких операций обеспечивается учетом масштаба измерения параметров экзогенных процессов.

Существенно важно в некоторых случаях масштаб измерения определять не по непосредственным измерениям, а по фиксируемому при этом действительному эффекту. Так, дендрохронологический метод определения частоты схода селей по сбитостям, несмотря на прямые измерения на спиле размером до полуметра, на самом деле характеризует селевой бассейн в целом.

Таким образом, применение этого принципа позволяет определить четкий физический смысл по масштабу измерения любого метода измерения экзогенных процессов. В этом заключается его теоретическое значение.

В зависимости от поставленных задач можно четко и обоснованно планировать необходимость и возможность применения различных по масштабам измерения методов изучения экзогенных процессов, в том числе и обоснованность использования ранее полученных результатов. В этом заключается практическое значение принципа масштабности измерения.

ДУБЛИРОВАНИЕ

Н. И. Николаевым было отмечено, что ни один из методов изучения тектонических движений не позволяет получить неоспоримые результаты. В связи с этим им было рекомендовано комплексное изучение и измерение этих движений. В развитие такого подхода была определена необходимость комплексных измерений всех перемещений земной поверхности разными методами [3]. Относительно ЭГП это означает, что выявление истинных (или приближающихся к ним) параметров экзогенных геологических процессов возможно только при параллельном использовании разных методов измерения ЭГП и сравнении полученных результатов. Такой подход целесообразно определить в виде принципа дублирования [25].

Рассмотрим применение принципа дублирования на примере комплекса методов измерения скорости смещения грубообломочного материала курумов на склонах. Для получения каждого параметра, характеризующего ЭГП, возможно применение методов, имеющих одинаковые или разные содержательные принципы измерения. Например, одинаковый содержательный принцип измерения имеют методы покрашенных склоновых створов и фототеодолитных склоновых площадок. Они основаны на измерении смещения отдельных обломков. Два других метода — траншей-ловушек и дендрозкранов — основаны на принципе измерения смещения всего чехла грубых обломков.

Маловероятно получение идентичных результатов методами, имеющими разные содержательные принципы измерения. Только объективным сравнением этих данных можно выявить истинную картину.

Методы траншей-ловушек и дендрозкранов различаются по срочности измерений на срочные и среднемноголетние. Методом дендрозкранов получают среднемноголетние данные, а методом

траншей-ловушек — срочные. Срочные измерения при коротких рядах наблюдений, которые существуют и будут существовать, носят во временном аспекте случайный характер. При использовании их нет точки отсчета, позволяющей определить, в какой стадии находится процесс смещения грубообломочного материала на склонах — в стадии активизации или затухания. Для этого необходимо сравнение со среднеголетними данными. Поэтому важна роль методов, позволяющих получить среднеголетние данные. Последние, хотя обычно и носят разовый характер, но являются весьма рациональным способом быстрой оценки активности ЭП, если их использовать параллельно с режимными измерениями. Таким образом, практическая необходимость дублирования срочных и среднеголетних методов также является объективно необходимым элементом данного принципа.

Каждый из четырех упомянутых методов обладает специфическими негативными особенностями, создающими вероятность возникновения ошибок. Метод траншей-ловушек предполагает искусственный разрыв чехла грубообломочного материала, вследствие чего движения его происходят без ранее существовавшего подпора обломков. Даже не учитывая первоначальных грубых ошибок, связанных с нарушением естественных условий при рытье траншей, при отдаленных измерениях можно ожидать завышенных данных по сравнению с действительными.

Естественный разрыв чехла грубообломочного материала имеет место в методе дендроэкранов, но здесь скорость смещения материала оценивается по движению его ниже экрана, т. е. без подпора обломков сверху. Это должно приводить к отрицательной ошибке — занижению среднеголетней скорости смещения. Для метода экранов, видимо, еще более существенна возможная положительная ошибка, связанная с занижением возраста кедрового стланика, играющего роль естественного экрана и препятствующего движению обломков вниз по склону.

Метод покрашенных склоновых створов отличается недостаточной точностью из-за малого числа меченых обломков на склоне и возможностью нарушения естественных условий при измерениях. Кроме того, он недостаточно технологичен при массовом применении.

На этом фоне наиболее совершенным выглядит метод фототеодолитных склоновых площадок. Дистанционное измерение на значительных площадях без нарушения естественных условий позволяет видеть возможные ошибки только в технике геодезических измерений, но они в целом незначительны. Однако широкое практическое применение метода несомненно обнаружит те или иные слабые стороны, требующие сравнительной оценки с другими методами.

Резюмируя краткий обзор основных ошибок упомянутых методов, можно сделать вывод о том, что учет их величины в каждом методе производить, конечно, необходимо, но вряд ли возможно и по существу и в смысле быстроты исполнения. Более эффектив-

но этот вопрос можно решить при сравнении данных, полученных разными методами, т. е. с помощью принципа дублирования.

Весьма важную роль в практическом использовании методов изучения ЭГП в естественных условиях играют их технологичность и экономическая целесообразность. Разнообразные природные условия требуют возможности применения разных методов, а объективность полученных результатов — приемлемой сравнимости полученных данных, которая обеспечивается принципом дублирования. При отборе в качестве критерия одного из методов также необходима сравнительная оценка с ним других методов, используемых для измерения аналогичных параметров.

Для выявления относительной активности ЭГП при изучении их режима в применении принципа дублирования может быть исключение. В процессе режимных наблюдений одним методом можно судить, например, об относительном измерении скорости того или иного процесса. Хотя, как было показано выше, одним методом практически очень трудно выявить достоверное абсолютное значение параметров ЭГП. Необходимость оперативного получения последних заставляет обратить особое внимание на принцип дублирования как интенсивный способ выявления достоверности результатов в отличие от известных экстенсивных приемов, например длительного накопления данных режимных наблюдений за ЭГП отдельными методами и оценки их возможных ошибок. В этом заключается практическая ценность предлагаемого принципа.

Перечисленные выше критерии дублирования методов изучения ЭГП по сравнению содержательных принципов измерений и срочности измерений не являются исчерпывающими. Число их гораздо больше: по единицам измерения, по длительности и по масштабу измерения и т. д. (см. табл. 8). Кроме того, могут быть самыми разными специфические ошибки разных, применяемых для измерения одного параметра ЭГП. Именно принцип дублирования позволяет при анализе результатов параллельных измерений отдельных параметров процессов выявить и количественно охарактеризовать объективность получаемых данных. В этом и заключается теоретическое значение предлагаемого принципа дублирования методов измерения процессов.

РАВНОЗНАЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Важнейшим параметром ЭГП является скорость, причем разными методами могут быть получены разные виды скоростей, характеризующих изучаемый процесс. Не останавливаясь на анализе понятия скорости, сошлемся здесь на общую классификацию скоростей смещения материала на склонах, которая, кстати, одновременно является и технологической схемой их определения (см. табл. 2).

Для скоростей смещения разных по характеру единиц измерения достаточно получения одной экспериментально определенной, чтобы, используя плотность породы, вычислить остальные скоро-

сти. Для скоростей смещения разных по направленности единиц измерения также достаточно одной экспериментально определенной, чтобы, используя крутизну склона, вычислить остальные. В целом классификация в табл. 2 предполагает, что достаточно экспериментального определения одной (любой) из скоростей смещения материала на склоне, чтобы вычислить все остальные виды скоростей, если известны плотность пород, мощность смещаемого слоя и крутизна склона. Аналогичная картина имеет место внутри системы единиц измерения отступления поверхности склонов.

На основании изложенного сформулируем принцип равнозначности измерений на первом таксономическом уровне: измерения любых видов скоростей смещения материала (или скорости отступления поверхности) на склоне равнозначны. Из этого принципа следуют важные выводы: 1) для оценки скорости смещения материала (или скорости отступления поверхности) на склонах в разных единицах измерения необходим и достаточен один вид экспериментального определения; 2) для комплексной оценки скорости смещения материала (или скорости отступления поверхности) на склонах применим любой корректный метод измерения; 3) любым корректным методом измерения (в том числе и методами, основанными на различных содержательных принципах измерения) получаются сравнимые результаты.

Проиллюстрируем это на конкретных примерах методов измерения смещения грубообломочного материала на склонах. Так, методом траншей-ловушек измеряется скорость смещения грубообломочного материала на склонах по массе по падению склона, а методом покрашенных склоновых створов и методом экранов — линейная скорость по падению склона. При повторной плановой аэрофотосъемке определяется линейная скорость горизонтальная, а при перспективной аэрофотосъемке и методом фототеодолитных склоновых площадок — линейная скорость в трех видах: по падению склона, вертикальная и горизонтальная. Легко предположить и возможность создания других методов, которые позволят определить любые скорости, указанные в табл. 2. Тем не менее к каждому из них и ко всем вместе применимы принцип равнозначности измерений и выводы из этого принципа, сформулированные выше.

Принцип равнозначности измерений изложен на примере скорости смещения материала (или скорости отступления поверхности) на склонах. На самом деле он имеет более широкое значение и справедлив также на более крупных таксономических уровнях: 1) при оценке скоростей разных ЭГП; 2) для одноименных параметров, где скорость является частным случаем, характеризующих любые ЭГП.

Реализация первого уровня обобщения принципа равнозначности измерений возможна при выявлении строгой взаимосвязи между системами единиц измерения скорости смещения материала на склонах и скорости отступления поверхности склонов, а второго —

при условии выявления строгой взаимосвязи между любыми видами одноименных параметров ЭГП.

На первый взгляд принцип равнозначности измерений противоречит изложенному ранее принципу дублирования. На самом деле это не так. Принцип дублирования в сущности является интенсивной формой подготовки к использованию принципа равнозначности измерений — взаимозаменяемости методов измерения параметров тех или иных процессов и применения, исходя из необходимой точности, экономической целесообразности или других причин, любых методов измерения. В этом заключается практическое значение принципа равнозначности измерений.

Кроме того, принцип равнозначности измерений справедлив еще для одного более крупного, четвертого, таксономического уровня — сравнения разных параметров любых экзогенных геологических процессов. В этом также заключается теоретическое и практическое значение принципа равнозначности измерений.

На четвертом таксономическом уровне принцип равнозначности измерений формулируется следующим образом: измерения массо- и энергопереноса в результате ЭГП равнозначны [25]. Необходимым условием реализации этого высшего уровня является выявление в будущем строгих связей между любыми системами единиц измерения экзогенных процессов при любых определяющих областях измерения.

ПАСПОРТИЗАЦИЯ

Разного рода паспорта широко применяются в практике инженерно-геологических исследований. В рамках предлагаемой методики целесообразно абсолютизировать этот подход, сформулировав его в виде принципа [24].

Сущность принципа паспортизации заключается в применении при изучении ЭГП комплекса паспортов по всем объектам измерения и соответствующим методам, которые: 1) отличаются универсальностью; 2) отвечают всем специфическим условиям объектов исследования и требованиям отдельных методов, т. е. сочетают в себе характеристику объектов исследования, методики измерений и полученных результатов.

Паспорт, с одной стороны, представляет собой форму отчетности, содержащую необходимую и достаточную информацию об объектах исследования. Он помещается в отчеты производственных организаций, для чего, в частности, и выбран его размер.

С другой стороны, паспорт представляет собой разработанную технологию того или иного метода измерения параметров ЭГП. В связи с этим он является главным рабочим документом как при полевых исследованиях, так и при камеральной обработке материалов. Обязательным элементом принципа паспортизации является описание методики измерений, которая в каждом конкретном случае должна содержать необходимые и достаточные сведения о применяемом методе.

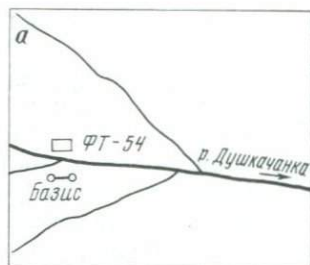


Рис. 4. Составляющие паспорта метода фототеодолитных площадок (по осыпям), Северное Прибайкалье, стационар «Душкчан» (ВСЕГИН-ГЕО).

а — схема расположения фототеодолитной площадки ФТ-54 на местности; б — дешифрирование фототеодолитного снимка объекта наблюдения ФТ-54. 1 — зона сноса (обрывистый участок); 2 — зона аккумуляции (осыпь); 3 — граница зон сноса и аккумуляции

Паспорта объектов исследований ЭГП представляют собой стандартный двойной лист бумаги, на котором имеется следующая информация [24]: 1) общая характеристика объектов исследования ЭГП; она включает адрес, геоморфологическое описание (генезис, морфологию, возраст элементов рельефа), геологическое описание (литологию, генезис, возраст горных пород) с вынесенными отдельно наиболее важными данными, такими, как абсолютная высота, крутизна склона или русла, высотный пояс, экспозиция и т. д.; необходимыми элементами общей характеристики являются фотография расположения его на местности и фотография или схема объекта измерения крупным планом; 2) техника подготовки объекта исследований или техника измерения, или то и другое вместе; 3) первичный материал, по которому производятся измерения, например масштабная фотография для фотометода, а также таблицы для внесения результатов измерения, вычисления параметров ЭГП по данному объекту. Поскольку методы исследований классифицируются на режимные и разовые, то для первых предусматривается возможность многократной записи и обработки новых данных.

В состав паспорта могут входить вспомогательные материалы, например вспомогательные таблицы по определению объемов сношенных частиц в фотометод и т. д. Естественно, что для каждого метода в паспортах должны быть отражены специфические элементы. В разработке формы паспортов принимали участие инженеры М. Л. Васильев и Е. И. Сорокина.

Принцип паспортизации дает возможность: 1) универсального и специфического подхода к измерениям различных ЭГП; 2) стандартизации и нормирования различных методов измерения параметров ЭГП.

В связи с этим становится реальностью: 1) широкое и быстрое внедрение разных, в том числе и новых, методов измерения ЭГП

Образец паспорта фототеодолитной площадки по осыпам (ФТ-54)

Адрес: Северное Прибайкалье, юго-восточный склон Кичерского хребта, долина р. Душканки, левый борт в 20 м ниже устья притока № 3

Высотный пояс: горная тундра. Абс. отметка 1170 м. Экспозиция: С

Геоморфология. V-образная долина р. Душканки. Современный денудационный обрывистый склон крутизной 60–70°, высотой 5–8 м, шириной 4–8 м. У основания обрыва неразмытая осыпь с углом естественного откоса 37–39°

Геология. Склон сложен габбро-норитами довыренского интрузивного комплекса позднего протерозоя. С поверхности представлен глыбовой зоной коры выветривания. Осыпь состоит в основном из щебня. Всего крупнообломочных частиц >90 %

Техника измерения. На правом склоне разбит и размечен краской базис длиной 1,75 м, проведена фототеодолитная съемка обрыв — осыпь (фототеодолит ФТ, высота инструмента 1,10 м). Ориентирование камеры на знак «крест» с надписью ОРП-54 на левом склоне в 40 м от базиса и 10 м выше тальвега

Дата съемки	Интервал времени между съемками t , дни	Отступление стенки обнажения h , мм	Плотность коренных пород ρ , г/см ³	Скорость денудации		
				линейная $V = \frac{h \cdot 365}{t}$, мм/год	объемная $V_0 = V_l $, л/(м ² ·год)	по массе $V_m = V_0 \rho$, кг/(м ² ·год)
22.VIII.77	Оборудование объекта					
05.VIII.78	349	0,0110	2,92	0,0110	0,0114	0,0333
25.VIII.79	384	0,0293	2,92	0,0275	0,0275	0,0803

Таблица 4

Образец паспорта метода дендрозкранов

Адрес: Северное Прибайкалье, юго-восточный склон Кичерского хребта, бассейн р. Душканки, левый борт, напротив притока № 1, 12.VIII.1979 г.

Высотный пояс: горная тундра. Абс. отметка 1050 м. Экспозиция С

Геоморфология. Позднечетвертичный, площадной курум на склоне крутизной 27–30° и длиной 400 м

Геология. На коренных габбро-норитах довыренского интрузивного комплекса позднего протерозоя развита кора выветривания с маломощной (0,1–0,2 м) щебнистой зоной в верхней части. Поверхность склона покрыта чехлом обломков щебнисто-каменистых фракций мощностью 1–3 обломка

Техника измерения. Куртина кедрового стланика экранирует движение чехла обломов, обнажая ниже по склону три слоя разреза чехла в виде пятен ниже куртины. Расстояние от кола дерева до нижних границ пятен — путь, пройденный материалом за время экранирования, равное возрасту куртины — экран, определенному по спилу в 0,2 м выше кола

Возраст экрана t , лет	Величина смещения обломков по склону h , мм	Плотность ρ , г/см ³	Мощность H , м	Скорость смещения по склону		
				линейная $V_l = h/t$, мм/год	объемная $V_0 = V_l \cdot H$, л/(м·год)	по массе $V_m = V_0 \rho$, кг/(м·год)
98	3,00	2,00	0,40	3,07	1,24	2,48
98	4,50	1,80	1,20	4,60	0,92	1,65
98	6,10	1,60	1,10	6,20	0,62	0,99

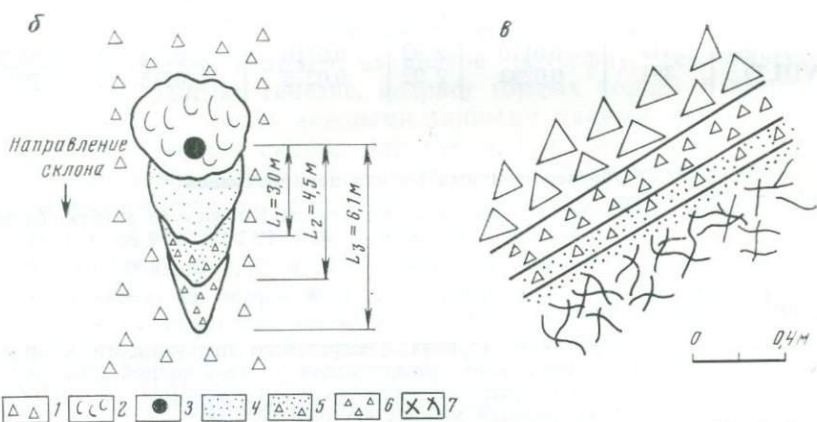


Рис. 5. Составляющие паспорта метода дендрозкранов. Северное Прибайкалье, стационар «Душкан» (ВСЕГИНГЕО).

а — общий вид курумного склона; б — экранирование движения грубообломочного материала куртиной кедрового стланика на курумном склоне; в — разрез курума рядом с объектом измерения. 1 — грубообломочный материал серого цвета из щебнисто-каменистых фракций; 2 — куртина кедрового стланика; 3 — комель дерева; 4 — щебнистая зона коры выветривания с мелкоземом светло-коричневого цвета; 5 — мелкий щебень серого цвета с мелкоземом; 6 — мелкий щебень серого цвета; 7 — глыбовая зона коры выветривания.

в практику производственных организаций в различных районах СССР; 2) получение разными организациями сравнимых результатов измерения ЭГП как для отдельных регионов, так и для всей территории СССР, что необходимо для разного рода обобщений.

В конечном итоге применение принципа паспортизации дает возможность переносить идентичное отображение параметров ЭГП на кодированные носители информации для последующего приме-

Образец паспорта русловых створов

Адрес: Прибайкалье, юго-восточный склон Баргузинского хребта

Объект измерения. Селевые бассейны IV порядка от водораздела Баргузинского хребта до долины р. Баргузин

Характеристика объекта. Сели водокаменного типа разгружаются, не достигая р. Баргузин. Твердый сток формируется за счет выносов из бассейнов меньшего порядка. Сели проходят раз в 10—15 лет

Техника измерений. В суженых частях русел, просматриваемых с воздуха, прокрашены створы белой краской. На бортах русел написаны номера створов. Результат измерений: «да» — снесен створ — был сель; «нет» — сохранился створ — не было селя. Обследование — аэровизуальное

Селевые бассейны со створами	Дата подготовки створов, год	Дата обследования, год	Интервал времени, лет	Результат обследования	Число селей	Частота селей, год ⁻¹
Могжон Верхний Курумкан	1980	1981	1	Нет	0	0
	1980	1981	1	Нет	0	0

нения в разных целях. Разработка формы паспортов является весьма важной практической задачей. Работы по их совершенствованию необходимо продолжить до некоторой конечной стадии.

Ниже приводятся три формы паспортов: 1) для методов режимных измерений условно-непрерывных ЭГП (паспорт фототеодолит-

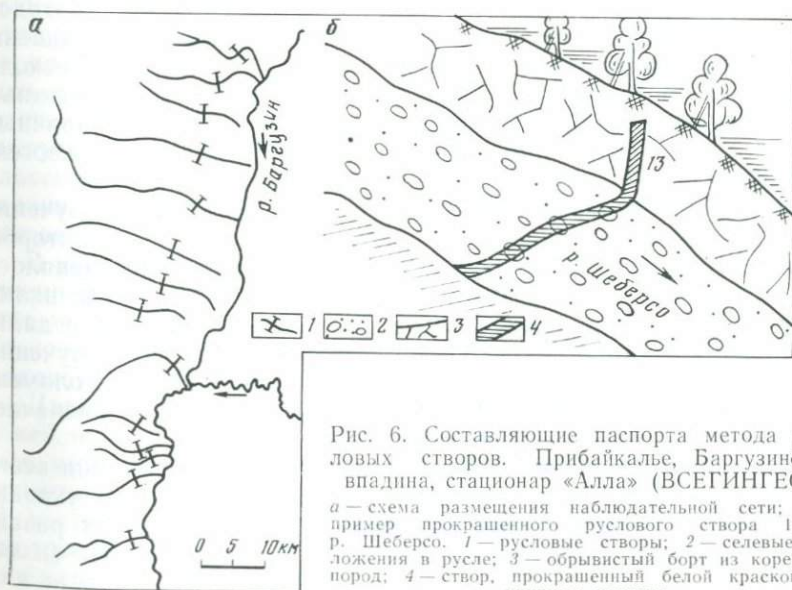


Рис. 6. Составляющие паспорта метода русловых створов. Прибайкалье, Баргузинская впадина, стационар «Алла» (ВСЕГИНГЕО).

а — схема размещения наблюдательной сети; б — пример покрашенного руслового створа 13 на р. Шеберсо. 1 — русловые створы; 2 — селевые отложения в русле; 3 — обрывистый борт из коренных пород; 4 — створ, покрашенный белой краской по крупным камням

ной площадки по осыпям — табл. 3, рис. 4); 2) для методов разовых измерений (паспорт метода дендрозкранов — табл. 4, рис. 5); 3) для методов режимных измерений прерывистых ЭГП (паспорт метода русловых створов — табл. 5, рис. 6). Используя эти образцы, легко составить паспорта для любого метода измерения параметров ЭГП. При этом на левой половине стандартного двойного листа бумаги помещаются рисунки, характеризующие взаимоотношения объекта измерения с окружающей местностью, а также фото, схемы или разрезы объекта измерения крупным планом; на правую половину двойного листа заносят остальную необходимую информацию (см. табл. 3—5).

Глава 4

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ЭГП

Общие положения. Диапазон методов изучения экзогенных процессов в настоящее время довольно значителен и постоянно расширяется. В связи с разнообразными практическими задачами в будущем следует ожидать сохранения этой тенденции. В настоящее время неизвестна целостная классификация методов изучения экзогенных процессов. Имеют место подразделения только в отдельных областях, например моделировании. В связи с этим объективной необходимостью является систематизация всех методов изучения экзогенных процессов. При этом должны быть решены следующие задачи: проведен анализ и сделаны обобщения исходя из известных методов; на основании этого определены возможные направления разработки новых методов; определены граничные условия предлагаемой методики измерения параметров экзогенных процессов.

Обобщенная классификация методов изучения ЭГП. Изучение экзогенных процессов обычно сводится к рассмотрению факторов, определяющих их развитие. Понятие фактора применялось Е. М. Сергеевым как наиболее общее для всех процессов, включая техногенные, или только для естественных процессов с дальнейшей детализацией на те или иные факторы [8]. При изучении выветривания давно использовались (например, Н. В. Коломенским, И. С. Комаровым, Г. С. Золотаревым) понятия, обозначаемые терминами «агенты» и «среда».

В основу предлагаемой классификации методов изучения всего многообразия экзогенных процессов (табл. 6) положено указанное известное подразделение факторов, определяющих их развитие, на факторы среды (постоянные) и факторы агенты (изменяющиеся).

**Обобщенная классификация методов изучения экзогенных процессов
(с примерами отдельных методов)**

Факторы-агенты (изменяющиеся)	Факторы среды (постоянные)			
	Естественные	Природные аналоги (пробы)		Искусственные
		Ненарушенная структура	Нарушенная структура	
Естественные	Метод площадок-ловушек	Метод изучения выветривания на защищенных участках склонов	—	—
Природные аналоги	Метод искусственного дождевания	Метод замораживания-оттаивания	Метод изучения селей в лотках	Метод изучения перелива воды через плотины на моделях
Искусственные		Метод среза в целиках		Метод изучения оползней на эквивалентных материалах

Более низким таксономическим уровнем классификации определены условия изучения факторов развития ЭП: 1) естественные, 2) природные аналоги, 3) искусственные. Поднятия, вкладываемые в эти термины, очевидны. Отметим лишь, что для факторов среды в качестве природных аналогов выступают разного рода пробы, которые исходя из практики целесообразно подразделить по признаку сохранности структуры на ненарушенные и нарушенные. В качестве природных аналогов факторов-агентов могут выступать вода, температура и т. д. По приведенным в табл. 6 классификационным признакам могут быть определены общие и отличительные черты любого из методов изучения экзогенных процессов.

В классификации выделяются два крайних случая: только естественные условия изучения процессов и только искусственные (чистое моделирование). Все остальные случаи носят в разной степени промежуточный характер и отличаются той или иной формой моделирования.

Данная классификация имеет обобщенный характер, так как в ней недостаточно отражены важные отличительные черты разных методов изучения ЭП. Для ее детализации целесообразно применить два более частных признака: 1) масштаб измерения, 2) местоположение проб. Принцип масштабности измерений рассмотрен ранее. Здесь следует изложить понятие пробы при изучении экзогенных процессов.

Понятие пробы. Известное определение пробы как усредненного содержания отдельных элементов существенно расширено в инженерно-геологической практике. Более общее значение имеет понятие «образец — кусок горной породы..., взятый для изучения» [15], но и его недостаточно для рассмотрения, в частности, методов изучения ЭГП.

Предварительно пробы целесообразно классифицировать по двум критериям: 1) масштабу опробования (что, исходя из цели этой операции, фактически тождественно масштабу измерения), 2) местоположению проб. Первый критерий рассмотрен в гл. 3, а по второму объективно выделяются пробы в целике и вне целика. Так, например, известное изучение выветривания горных пород на зачищенных, т. е. освобожденных от естественных продуктов выветривания, участках представляет собой изучение на пробе в целике. Такие исследования применяются как на относительно небольших участках, соответствующих измерениям в массиве, так и на более крупных, например на бортах карьеров, представляющих собой область измерения «геологического тела».

Таким образом, используя понятие масштаба опробования (измерения) с расширением его до любого таксономического уровня и вводя понятие местоположения проб, с отнесением к последним горных пород, подготовленных тем или иным способом к изучению, в том числе без изъятия их с местонахождения, дадим расширенное определение пробы. *Под пробой понимается часть горной породы (или горных пород), подготовленная каким-либо образом для изучения*, в конкретном случае для изучения экзогенных процессов. При рассмотрении естественных и техногенных процессов имеет место определенная относительность в определении понятия пробы. Так, например, при изучении выветривания пород в карьерах последние относительно естественных процессов являются пробой, а относительно изучения техногенных процессов в данном случае применение понятия пробы неуместно, поскольку изучают сами процессы.

Классификация методов изучения ЭГП. По сравнению с обобщенной классификацией в табл. 6 в данном случае факторы среды (постоянные) дополнительно подразделены по признакам масштаба измерения и местоположению проб (табл. 7). При этом, также как в обобщенной классификации, каждому из классификационных признаков (факторов среды) по горизонтали соответствует определенный признак (фактор-агент) по вертикали и наоборот. Это позволяет определять общие и отличительные черты (по данным признакам) любого из методов изучения ЭГП.

Дальнейшая детализация, по-видимому, целесообразна уже только в рамках отдельных разделов табл. 7, классифицированных по факторам развития экзогенных процессов и условиям их изучения.

В обеих классификациях (см. табл. 6, 7) в некоторых разделах не приведены примеры соответствующих методов изучения ЭГП. Это означает, что в настоящее время авторам они неизвестны. Тем

не менее не следует отрицать возможности и целесообразности разработки и применения таких методов в будущем. Более того, в определенной степени данные классификации ориентируют исследования в этом направлении. При этом даже необычные на первый взгляд сочетания условий изучения факторов развития ЭГП в перспективе могут стать вполне реальными и практичными, в частности как следствие технического прогресса. Возможность разработки и применения новых методов сохраняется и для тех разделов классификации, в которых приведены примеры современных методов изучения экзогенных процессов.

Таким образом, в результате сопоставления условий изучения экзогенных процессов (естественных, на природных аналогах и искусственных) для факторов их развития (среды и агентов) составлены обобщенная и детализированная классификации методов изучения (и измерения) экзогенных процессов. С их помощью систематизированы все возможные методы изучения ЭГП (известные и предполагаемые) и объективно определены граничные условия предлагаемой методики. В данной работе рассматриваются только методы измерения ЭГП, применяемые при естественных условиях изучения, т. е. при естественных факторах среды и факторах-агентах.

ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Данная классификация (табл. 8) раскрывает один из наиболее важных случаев возможного измерения ЭГП — в естественных условиях — и систематизирует комплекс методов, рассматриваемых в данной работе. В основу классификации положены три главных критерия подразделения: 1) по объектам исследования, 2) по содержательным принципам измерения, 3) по особенностям измерений.

Первый критерий (см. табл. 8 графы 3—13) предполагает обоснованное выделение объекта измерения — определенного экзогенного процесса, что возможно только в результате применения всей инженерной геодинамики. Этот раздел классификации может быть обоснован относительно применяемых методов только для природных условий конкретного региона. В данном случае рассмотрены методы, по которым есть опыт применения в двух регионах: в Горном Крыму и Прибайкалье (см. гл. 5—9). В классификации использованы только два формализованных критерия выделения процессов: 1) по характеру проявления — условно-непрерывные (выветривание, осыпание, плоскостной смыв и т. д.) и прерывистые (сели, оползни и т. д.); 2) по месту проявления. Конкретные измеряемые процессы приведены в описании каждого метода.

В классификации выделен ряд разделов по содержательным принципам измерений: перемещениям отдельных частиц, улавливанию снесенного материала, целостным изменениям на объектах, следам воздействия. Исключением является выделение дендрохро-

Классификация методов изучения экзогенных

Факторы-агенты (изменяющиеся)	Факторы среды						
	Естественные			Природные аналоги			
	Образец	Массив	Геологическое тело	Ненарушенная			
				Образец		Мас	
				в целлке	вне целлка	в целлке	
Естественные	—	Метод площадок-ловушек	Метод овражных уловителей	—	Метод изучения выветривания на образцах	Метод изучения выветривания на защищенных участках склонов	
Природные аналоги	—	Метод искусственного дождевания	Метод искусственной подрезки оползней	—	Метод замораживания-оттаивания	—	
Искусственные	—	—	—	—	—	Метод среза в шурфах	

Таблица 7

процессов (с примерами отдельных методов)

(постоянные)							
(пробы)							Искусственные
структура			Нарушенная структура				
сив		Геологическое тело		Образец	Массив	Геологическое тело	
вне целлика	в целике	вне целлика					
—	Метод изучения выветривания в бортах карьеров	—	—	—	—	—	—
Метод искусственного дождевания в лотках	—	—	Метод изучения рас­трескивания при усадке	Метод изучения селей в лотках	—	Метод изучения пере­лива воды через пло­тины на моделях	
Метод среза на моно­литах	—	—		—	—	Метод изу­чения оползней на эквива­лентных материалах	

Критерии классификации—содержательные принципы измерения параметров ЭГП	Классификационные признаки—методы измерения параметров ЭГП	Особенности						
		Содержание						
		Единицы измерений				Отсчеты (достоверность)		
		Скорость			Час- тота	макси- маль- ные	мини- маль- ные	истин- ные
		ли- ней- ная	объем- ная	по мас- се				
1	2	21	22	23	24	25	26	27
Оценка пере- мещения от- дельных частиц	Фотоплощадок Стереоплощадок Фототеодолитных пло- щадок Фототеодолитных пло- щадок по осыпям Прокрашенных склоно- вых створов Склоновых стереофото- площадок Фототеодолитных скло- новых площадок	+					+	+
		+					+	
		+					+	
		+						+
		+						+
		+						+
Улавливание снесенного ма- териала	Площадок-ловушек Траншей-ловушек Овражных уловителей Осыпных тел	+	+	+		+	+	+
Фиксация це- лостных изме- нений	Микронивелировок Историко-археологиче- ские Геолого-геоморфологи- ческие	+			+	+	+	+
		+			+	+	+	+
		+			+	+	+	+
По следам воздействия ЭГП на при- мере дендро- хронологиче- ских методов	По обнаженным корням По погребенным ство- лам По деформированным корням Дендрозкранов По наклону деревьев По сбитостям По погибшим деревьям	+			+	+	+	+
		+			+		+	+
		+			+	+	+	+
		+			+	+	+	+
		+			+	+	+	+
Фиксация це- лостных изме- нений	Метод русловых створов				+			+

[illegible]

нологических методов. Это сделано из чисто практических соображений и обусловлено спецификой методов.

В классификации (см. табл. 8) по горизонтали приведен ряд более частных подразделений по критерию «особенности измерения», для которого выделяются наиболее общие понятия: «содержание измерений» и «техника измерений». Понятия, вкладываемые в эти и более дробные признаки, очевидны из применяемой терминологии (см. табл. 8 графы 14—38).

В формировании терминов для обозначения отдельных методов могут использоваться любые классификационные признаки, содержащиеся в табл. 8, или их сочетания, а также любые другие признаки и их сочетания. При этом они могут отражать содержательные принципы измерения, например метод площадок-ловушек, но могут характеризоваться и техническим средством измерения, например метод фотоплощадок.

Классификация в целом читается следующим образом: каждому классификационному признаку по вертикали (методу измерения) соответствуют отмеченные признаки по горизонтали и наоборот. Исходя из этого, характеризуются методы измерения, но в то же время может быть осуществлен подбор методов для каждого признака, по которому они классифицируются. Разработанная общая классификация методов измерения параметров экзогенных процессов в естественных условиях систематизирует большой комплекс методов измерения, позволяет определить их общие и отличительные черты.

Классификация предполагает возможность дальнейшего совершенствования во всех ее составных частях: расширение содержательных принципов измерений и комплекса методов, выбор других или детализация примененных критериев классификации ЭГП, для которых проводятся измерения, а также учет особенностей измерения как в детализации признаков содержания измерений, так и в совершенствовании техники измерений.

Ниже, в гл. 5—9, рассматриваются отдельные методы измерения параметров ЭГП. В данной классификации они охарактеризованы обширным комплексом признаков, что позволяет избежать этого при описании каждого метода. В то же время это предполагает необходимость применения классификации на практике при использовании каждого метода. Только тогда будет обеспечена объективность полученных данных.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП, ОСНОВАННЫЕ НА ОЦЕНКЕ СМЕЩЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В 1968 г. авторами был предложен фотометод измерения скорости денудации [12]. В нем для оценки отступления всей стенки обнажения конгломератов исследовалось измерение сноса отдельных обломков. Подобный прием целесообразно в общем виде сформулировать как содержательный принцип измерения скорости условно-непрерывных ЭГП, заключающийся в том, что на основании измерения сноса, смещения, накопления и вообще любого перемещения отдельных частиц получают данные о скорости процесса в целом. Исходя из этого принципа, авторами разработан ряд методов измерения параметров ЭГП. Относительно характера перемещения материала на склонах в результате тех или иных ЭГП и применяемых систем единиц измерения эти методы могут быть разделены на две группы.

Первая группа методов, предназначенная для оценки отступления поверхности склонов (фотоплощадок, стереофотоплощадок, фототеодолитных площадок, фототеодолитных площадок по осыпям), используется при измерении скорости денудации на обрывистых участках. В скальных и полускальных породах кора выветривания представлена нижней частью щебнистой или глыбовой зон с хорошо различающимися отдельными обломками горных пород, путем сноса которых происходит денудация.

Сущность данной группы методов заключается в дистанционном измерении объема снесенных обломков U и отнесении этого объема к площади обнажения S , с которого происходит снос. В результате объем снесенных обломков условно распространяется на всю измеренную площадь склона и получается усредненная величина его отступления за время измерения

$$L = U/S. \quad (18)$$

Важной составной частью этой группы методов является определение объема отдельных снесенных частиц. Наиболее целесообразно для этого применять способ А. Ф. Пашинского [12], исходя из формы и максимального диаметра частиц, определяемых по плоскому изображению на масштабных снимках. Объем каждой частицы V_i вычисляется по формуле

$$V_i = D_{\max}^3 \alpha / K^3, \quad (19)$$

где $D_{\max}$ — максимальный диаметр частицы; K — переходный коэффициент; α — коэффициент формы.

Форма частиц определяется визуально, а для каждой выделенной формы частиц эмпирически установлены переходный коэффи-

Таблица 9

Характеристики крупнообломочных частиц для определения их объема

Форма частиц	Переходный коэффициент K	Коэффициент формы α
Шарообразная	1,3	0,5
Эллиптическая	1,4	0,6
Призматическая	1,3	0,6
Угловатая	1,3	0,6
Уплощенная	1,3	0,6

циент и коэффициент формы (табл. 9), которые используются при расчете объема частиц по формуле (19).

Общий объем снесенных частиц V определяется как сумма объемов отдельных частиц V_i :

$$V = \sum_{i=1}^n V_i. \quad (20)$$

Этот объем используется при вычислении линейной величины отступления стенки обнажения по уравнению (18), а с учетом времени между измерениями и линейной скорости денудации по уравнениям (1) и (2).

Таким образом, в первой группе методов экспериментальной является линейная скорость денудации, остальные скорости — объемная и по массе — вычисляются (см. гл. 2).

Скорость денудации на обрывистых склонах изменяется от первых сантиметров до долей миллиметра в год в зависимости от состава горных пород, климата и ряда других факторов. Это сказывается на возможности применения тех или иных методов измерения. Если при высокой скорости денудации возможны измерения, например с помощью площадок-ловушек или непосредственная оценка отступления стенки обнажения по данным повторной фототеодолитной съемки [17], то при незначительной скорости денудации такие срочные измерения практически невозможны или крайне затруднены. Действительно, при скорости денудации, например 0,1 мм/год, отступления стенки обнажения на 1 см нужно ждать 100 лет, да и то, учитывая неровность поверхности, эти измерения невозможны или крайне неточны, например при обычной повторной фототеодолитной съемке.

Реально процесс осыпания на обрывистых участках происходит путем выпадения отдельных частиц к основаниям обнажений под действием гравитации. На измерении этого процесса и основаны содержательный принцип измерения и соответствующая группа методов. Размер обломков на поверхности обрывистых участков для разных пород может изменяться от дресвы до глыб. Поэтому, говоря о линейной скорости денудации (скорости отступления стенки обнажения) в миллиметрах или в долях миллиметров в год, объективно будем иметь в виду не реальное отступление стенки обнажения за период времени между измерениями, а предположение, что если бы этот процесс продолжался достаточно долго, то отношение мощности снесенной породы ко времени, когда это произошло, дало бы величину скорости денудации в приведенных выше величинах.

На самом деле у нас нет возможности проводить срочные измерения денудации столь длительное время, чтобы реально была заметна величина целостного отступления стенки обнажения. Кроме того, денудация происходит весьма неравномерно в течение не только одного года, но и в пределах сезона и даже вследствие отдельных метеорологических явлений — дождей и т. д. Поэтому практически весьма важно оценивать скорость денудации за весьма короткие промежутки времени — сезоны года, сутки и даже части суток.

Объективная возможность измерения скорости денудации за любой короткий промежуток времени вытекает из самого содержательного принципа измерения — оценки сноса отдельных частиц с обнажений. Именно этим обусловлена высокая точность измерений — десятые и сотые доли миллиметра отступления стенки обнажений. Более того, теоретически точность измерений должна быть неограниченно высокой, поскольку предлагаемые технические средства (например, в методе фототеодолитных площадок) позволяют учесть снос одной какой-либо частицы с обнажения. Для получения достоверных значений скорости денудации, т. е. ее величины в определенном доверительном интервале с определенной доверительной вероятностью, существенное значение будет иметь необходимость учета сноса некоторого множества частиц. Это следует из статистического смысла измерения скорости денудации по сносу отдельных частиц.

Вторая группа методов, предназначенных для измерения смещения материала на склонах (прокрашенных склоновых створов, склоновых стереофотоплощадок, фототеодолитных склоновых площадок), используется при оценке движения поверхностных частей курумов, осыпей и т. д., которые сложены грубообломочным материалом. В этих отложениях наиболее подвижным является поверхностный слой, поэтому большое значение имеет измерение скорости его перемещения.

Смещение отдельных обломков L_i приводит в итоге к результирующему смещению L всего поверхностного чехла. Для получения величины последнего по смещению отдельных обломков необходимо учитывать обломки, оставшиеся неподвижными

$$L = \sum_{i=1}^n L_i / N, \quad (21)$$

где N — общее число обломков на объекте измерения, включая неподвижные.

Отметим, что величина смещения всего чехла может толковаться как смещение любого обломка. При такой оценке величины смещения материала на склоне в результате ЭГП делается одно допущение — принимается, что все движущиеся обломки имеют один размер. Вследствие этого нет необходимости определения объема каждого из них. На настоящем этапе при этом достигается необходимая точность.

Исходя из величины L , с учетом времени измерения по уравнениям (1) и (2) определяется линейная скорость смещения материала по склону. В данной группе методов именно она и является экспериментальной, остальные вычисляются по соответствующим уравнениям (см. гл. 2).

Комплекс методов, основанный на содержательном принципе измерений по смещению отдельных частиц, позволяет измерять любой диапазон скоростей смещения грубообломочного материала поверхности в результате воздействия любых ЭГП.

Следует отметить новизну в технике измерения, а именно объективную необходимость учета всех обломков на объекте измерения, включая неподвижные. Например, на курумах последние составляют большинство, вследствие чего действительная скорость движения курумов является весьма низкой.

На стационарах в Северном Прибайкалье было заложено 12 покрашенных створов на курумных склонах крутизной 25—33°. Из общего числа (примерно 1500) обломков в створах за четыре года измерения (с 1976 по 1980 г.) не сдвинулось ни одного. Сам по себе важный результат, свидетельствующий о низкой подвижности курумов, все же не давал ответа о значении скорости движения материала. Метод покрашенных створов оказался недостаточно точным (следует отметить, что он и недостаточно технологичен).

Измерение удалось провести новым методом фототеодолитных склоновых площадок, в котором число учитываемых обломков было доведено до тысяч и десятков тысяч. В конкретных первых измерениях оказалось, что только один смещаемый обломок приходится на тысячу неподвижных, а скорость движения курумов составляет величину менее 1 мм/год.

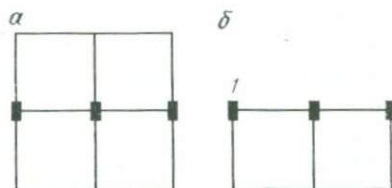
В комплексе с другими критериями оценки это позволило сделать вывод о том, что курумы в инженерном смысле неподвижны [31, 37]. Данный вывод противоречит широко известным в литературе, в том числе и учебной, сведениям о скорости движения курумов в десятки сантиметров и даже метры в год. Эти завышенные результаты, видимо, являются оценкой движения отдельных обломков без учета обломков, оставшихся неподвижными. Естественно, первые результаты, полученные по данной методике, нельзя распространять на все природные условия, но тем не менее на этом примере ясны очевидность и необходимость применения как отдельных методов измерения ЭГП, так и методики в целом, предложенных в данной работе.

Общей чертой всех методов, основанных на измерении каких-либо перемещений отдельных частиц, являются простота их технического исполнения и высокая точность измерений. Самым сложным оборудованием являются фототеодолит и стереокомпаратор для фотопластинок в камеральных условиях. Эта техника в настоящее время общеизвестна.

Кроме того, предложенное применение при съемке обычных фотоаппаратов и стереоскопов для камеральной обработки сним-

Рис. 7. Складная масштабная на-
кидная сетка с ячейками $100 \times$
 $\times 100$ мм, окрашенная белой масля-
ной краской.

a — в рабочем положении; *б* — в поход-
ном положении. *1* — шарнирное соеди-
нение



ков при известном масштабе фотоснимков, получаемом с по-
мощью масштабной накидной сетки (методы стереофотоплощадок
и склоновых стереофотоплощадок), позволяет достигнуть той же
точности, что и с применением фототеодолита. Это, возможно,
одно из самых существенных показаний к массовому применению
высокоточных измерений параметров ЭГП.

Следует отметить большие преимущества предлагаемой кон-
струкции масштабной накидной сетки (рис. 7). Прежде всего, это
малые ее размеры, особенно в складном варианте, что было в пол-
ной мере оценено при работе в сложных высокогорных условиях,
но актуально и при любых полевых работах. В самом простом слу-
чае она может быть легко изготовлена из любой проволоки в не-
складном варианте. В отличие от обычно применяемых гидролога-
ми накидных сеток размером 70×100 или 100×100 см для поле-
вых определений крупности русловых отложений данная масшта-
бная накидная сетка предназначена только для обозначения маш-
штаба фотоснимков, но при необходимости она может быть расчер-
чена прямо на снимке на всю его площадь. Таким образом, при
использовании фотометодов нет необходимости в применении на-
кидных сеток большого размера.

Рассматриваемый комплекс методов обладает следующими об-
щими особенностями: 1) методы основаны на измерении феномена
перемещения отдельных частиц, следствием чего является резуль-
тат проявления ЭГП в целом; 2) методы обладают высокой точ-
ностью, экономичностью, технологичностью и применимостью для
массовых измерений, в том числе и в сложных производственных
условиях; 3) высокая точность измерений позволяет делать изме-
рения за короткие промежутки времени, что особенно важно для
оперативного выявления факторов, определяющих скорость ЭГП
в естественных условиях, а также для использования этих дан-
ных при прогнозе процессов.

МЕТОД ФОТОПЛОЩАДОК

Фотометод впервые был применен для изучения скорости де-
нудации верхнеюрских конгломератов в Юго-Восточном Крыму
[12]. В принципе, он может использоваться для измерения скоро-
сти денудации на обрывистых склонах, сложенных породами низ-
кой и средней денудационной устойчивости. Попытка его приме-
нения на слабо выветриваемых скальных породах Прибайкалья
дала отрицательный результат. Для измерения скорости денудации
таких пород фотометод недостаточно точен.

На поверхности обрывистых склонов отмечается некоторое количество грубых обломков, из которых состоит поверхностная зона коры выветривания. Затем фотографируют обнажение с масштабной накидной сеткой. При повторном фотографировании через некоторое время и сличении разновременных фотоотпечатков можно обнаружить, что часть из отмеченных обломков снесена. Объем снесенных обломков и является мерой денудации за данный отрезок времени.

Возможность применения метода вытекает из следующих допущений: 1) соотношение площадей грубых частиц (в данном случае отмеченных) равно соотношению их объемов; 2) кроме отмеченных частиц со стенки обнажения, естественно, сносятся и другие частицы, которые формально рассматриваются как заполнитель. Очевидно, что объем снесенного заполнителя пропорционален объему снесенных частиц. Поэтому об отступании всего обнажения будем судить только по анализу всех отмеченных частиц.

Полевые работы. Для подготовки фотоплощадок выбирают наиболее характерные обрывистые участки склонов, для которых следует определить скорость денудации. Необходимое оборудование для работы: фотоаппарат, масштабная накидная сетка, белая масляная краска, кисточка.

На некоторой площади краской отмечают точками или черточками 30—100 крупных частиц, размещенных более или менее равномерно по обнажению. На одном из устойчивых на вид обломков пишут номер фотоплощадки. Границы фотоплощадки желательно отметить, например, сплошными линиями белой краской. Перед съемкой на фотоплощадке параллельно стенке обнажения устанавливают кусок ватмана или картона с датой съемки. Этот простой прием предохраняет от путаницы при сравнении разновременных снимков.

Фотосъемку производят по нормали к поверхности обнажения с такого расстояния, чтобы в видоискателе можно было различить отмеченные частицы, которые впоследствии на отпечатках необходимо измерять и оконтуривать. Это требование в основном и определяет размер фотоплощадки. Так, для дресвы на поверхности обнажения достаточно площади, например, 1—2 м², а для щебня и глыб необходимо от единиц до 10—20 м². Точку съемки обычно закрепляют меткой, сделанной белой краской в виде креста на каком-либо обломке, который не будет снесен, например, паводком. Но строгий выбор точки съемки необязателен. Вполне достаточно два критерия: 1) направление съемки нормально поверхности обнажения, 2) площадь фотоплощадки входит в поле зрения объектива. Фотосъемку лучше проводить одним и тем же аппаратом — это облегчит работу с разновременными снимками. Опыт показывает, что при съемке необходимо избегать прямого попадания солнечных лучей на фотоплощадку. Для этого выбирают соответствующее время или создают тень на объекте съемки. На этом собственно заканчивается оборудование фотоплощадки, и дальнейшие полевые работы заключаются в периодической масштаб-

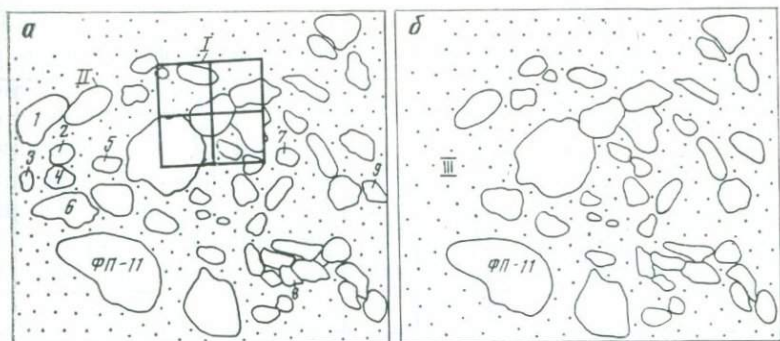


Рис. 8. Пример обработки фотоснимков в методе фотоплощадок. Верхнеюрские конгломераты юго-восточной части Крыма.

а — отрисовка фотоснимка площадки II, сделанного при ее оборудовании 14.V.65 г.; *б* — отрисовка повторного фотоснимка площадки II, на котором отсутствуют снесенные частицы, сделанного 09.V.66 г. I — масштабная накидная сетка; II — ооконтуренные на снимке отмеченные частицы; III — площадь обнажения, не занятая отмеченными частицами — условный заполнитель. 1—9 — номера снесенных частиц

ной фотосъемке и возможном дополнении отмеченных частиц при существенном сокращении их числа по мере выпадения.

В методе фотоплощадок может быть еще один технический прием мечения частиц. Он заключается в том, что наблюдаемые частицы отмечаются не на обнажении, а непосредственно на фотоснимке. Но этот прием следует использовать только в том случае, когда нет возможности отметить частицы непосредственно на обнажении, например из-за сложных производственных условий.

Определение снесенных частиц обычно проводят при сравнении разновременных фотоснимков в камеральных условиях, что существенно повышает технологичность метода. Но эту операцию можно делать и при обследовании площадок посредством сличения предыдущего фотоотпечатка с состоянием отмеченных частиц на фотоплощадке в данный момент.

Камеральные работы. Прежде всего изготавливаются фотоотпечатки объекта измерения размером 13×18 см. Сравнивая два разновременных фотоотпечатка (рис. 8), фиксируют снесенные (отсутствующие) частицы и измеряют их по мере обнаружения. Если с фотоплощадки не снесено ни одной отмеченной частицы, то этот результат также должен быть документально отмечен в паспорте.

Все дальнейшие операции делают по вспомогательной табл. 10 к паспорту фотоплощадки. На снимках визуально определяют форму снесенных отмеченных частиц относительно шкалы в табл. 9. Только после этого все отмеченные частицы ооконтуривают тушью. Практика показывает, что после ооконтуривания определить их форму невозможно.

Дальнейшие измерения делают в масштабе снимка: 1) площадь всех отмеченных частиц определяют планиметром или па-

Форма вспомогательной таблицы к паспорту метода фотоплощадок

Номера снесенных частич	Дата съемки	Форма частиц	Переходный коэф- фициент K	Коэффициент фор- мы α	Размеры по снимку					Масштабный коэф- фициент β	Истинное отступление стенки обнажения $L=L_0/\beta$, мм
					максимальный диаметр $d_{\max}$, мм	объем частиц $V=d^3_{\max}/K^3$, мм ³	суммарный объем снесенных частиц $V=\sum V_i$, мм ³	суммарная пло- щадь отмеченных частич S , мм ²	отступание стен- ки обнажения $L=V/S$, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

леткой прямо на фотографии или по их контуру, перенесенному на кальку; 2) максимальный диаметр снесенных частиц по снимку определяют измерителем.

Переход к истинному масштабу осуществляют через масштабный коэффициент β , который составляет отношение истинной величины стороны масштабной накидной сетки (200 мм) к ее величине по снимку (x , мм):

$$\beta = 200/x.$$

Истинную величину отступления стенки обнажения за время измерения (см. табл. 10) вносят в паспорт фотоплощадки. В нем с учетом времени измерения вычисляют экспериментальную линейную скорость денудации по уравнениям (1) и (2) и остальные виды скоростей (см. гл. 2).

МЕТОД СТЕРЕОФОТОПЛОЩАДОК

Метод стереофотоплощадок [26] предназначен для измерения скорости денудации на обрывистых склонах, сложенных породами любой денудационной устойчивости. Последнее обстоятельство требует высокой точности метода. Сущность его заключается в создании простейшей стереомодели известного масштаба с помощью фотосъемки любительской камерой с произвольного базиса, определении снесенных обломков при сравнении разновременных левых и правых фотоотпечатков, измерении по снимкам снесенных частиц и площади стереофотоплощадки и вычислении скорости денудации.

Два приема позволяют добиться исключительно высокой точности измерения, несмотря на применение обычной любительской фотокамеры. Во-первых, с помощью масштабной накидной сетки получают фотоснимки известного масштаба, по которым легко проводить необходимые измерения объема снесенных частиц и площади сноса. Во-вторых, при сравнении разновременных левых и правых снимков для обнаружения снесенных частиц используется

известный эффект сдвоенного изображения смещенных частиц на стереомодели.

Полевые работы. Необходимое оборудование для работы: фотоаппарат, масштабная накидная сетка, белая масляная краска и кисточка. В методе стереофотоплощадок обязательно применение фотоаппаратов одной марки.

Важным элементом подготовки стереофотоплощадки является четкое обозначение ее размеров для последующего определения площади сноса по масштабному фотоснимку. Обычно это делается сплошными полосами белой краски на обнажении. Однако сложные высокогорные условия не всегда позволяют это сделать. Поэтому допустим другой прием — оконтуривание границ стереофотоплощадки (зоны сноса, на которой производят измерения) на правом фотоснимке в процессе камеральных работ. При повторной съемке этот снимок необходимо иметь с собой.

Главным критерием выбора расстояния, с которого производится съемка, является возможность различения в видоискателе и, естественно, на снимках измеряемых обломков. Перед фотосъемкой на поверхности обнажения и параллельно ей устанавливают масштабную накидную сетку. На устойчивом участке пишут индекс стереофотоплощадки и ее номер, например СФ-8. В каком-либо углу ставят кусок картона с четко написанной датой съемки.

Напротив объекта измерения параллельно стенке обнажения разбивают базис с закрепленными точками для фотосъемки с целью получения стереомodelей. Точки съемки обычно фиксируют краской, и от них обязательно стрелкой указывают направление фотосъемки. Величина базиса выбирается из соотношения примерно от 1 : 5 до 1 : 10 к расстоянию до объекта съемки.

Фотосъемкой с точек базиса (левой и правой относительно направления на объект съемки) заканчивается оборудование стереофотоплощадки. Дальнейшие полевые работы заключаются в периодической повторной фотосъемке склона с фиксированных точек базиса. При фотосъемке желательно пользоваться экспонометром. Необходимо также иметь в виду, что при прямом попадании солнечных лучей на обнажения отдельные обломки на фотоснимках будут различаться очень плохо.

Камеральные работы. Прежде всего изготавливают пары фотоотпечатков (левый — Л, правый — П) для всех разновременных съемок. В верхнем правом углу фотографий пишут соответствующий индекс Л или П. Обычно дата съемки известна по снимку. Если она не была обозначена во время съемки, по мере печати разновременных снимков дату пишут в том же правом углу фотографии. Для универсальности работ необходимо принять, что все разметки в процессе измерений делаются только на правых снимках.

В результате обработки снимков должна быть получена величина отступления стенки обнажения как отношение объема снесенных частиц к площади стереофотоплощадки. На правом П из каждой одновременной пары снимков тушью оконтуривают измеряе-

мую площадь. Обычно это делается в дополнение к границам, фиксированным белой краской. На всех последующих по времени правых снимках эта площадь также оконтуривается для обозначения границ, в пределах которых ищут снесенные частицы. Измерение площади стереофотоплощадки делается только на первом снимке. Для этого используют планиметр или палетку. В результате получают площадь стереофотоплощадки по снимку.

Дальнейшие действия представляют собой ряд последовательных операций по определению по снимку объема частиц, снесенных с измеряемой площади. Если условно пронумеровать последовательные снимки с базиса (практически эта последовательность прослеживается по датам съемки), можно получить следующую систему, учитывающую многократные измерения:

$$\begin{array}{l} 1Л \\ 2Л \longleftrightarrow 1П \\ 3Л \longleftrightarrow 2П \\ 3П \end{array} \quad (22)$$

Стрелками в системе (22) показаны пары разновременных фотоотпечатков, которые просматривают под стереоскопом с получением стереоэффекта по всему измеряемому (оконтуренному) полю, например 1П — 2Л. При этом снесенные частицы (отсутствующие на более позднем левом снимке) проявляются в виде сдвоенного изображения. По мере обнаружения их нумеруют тушью на правом снимке.

Затем на правом снимке определяют максимальный диаметр каждой частицы и ее форму, чтобы с использованием данных табл. 9 и уравнения (19) вычислить объем каждой из них V'_i по снимку. Отношение суммы этих объемов V' к площади стереофотоплощадки по снимку s даст величину отступления стенки обнажения по снимку $|l|$ за время измерения, т. е. $l = V'/s$. Истинная величина отступления стенки стереофотоплощадки L составит произведение $h = l\beta$, где β — масштабный коэффициент, вычисляемый по уравнению (21), исходя из соотношения истинных размеров масштабной накидной сетки и ее размеров на снимке.

В целом все операции после обнаружения снесенных частиц на стереопарах целесообразно проводить, используя вспомогательную табл. 10 для фотометода, но с изменением графы 9, куда должна быть вписана общая площадь стереофотоплощадки по снимку.

МЕТОД ФОТОТЕОДОЛИТНЫХ ПЛОЩАДОК

В процессе изучения режима ЭГП на стационарах в зоне БАМа была сделана попытка применения фотометода для измерения скорости денудации прочных скальных пород на обрывистых склонах. Однако достаточно быстро выяснилось, что ввиду низкой денудации снос обломков из ограниченного числа отмеченных



Рис. 9. Фототеодолитный снимок обрывистого участка склона с осыпью у основания. Северное Прибайкалье, стационар «Душкачан» (ВСЕГИНГЕО)

частиц маловероятен. В итоге эта попытка окончилась неудачей, определив границу возможностей фотометода.

Таким образом, была фактически поставлена задача разработки высокоточного метода измерения скорости денудации горных пород. Эта задача была решена путем применения нового метода, получившего название метода фототеодолитных площадок и применяемого при измерении любой, даже очень малой, величины скорости денудации на обрывистых склонах.

Сущность метода заключается в выявлении снесенных с поверхности отдельных обломков по sdвоенному изображению на стереомодели при просмотре разновременных левых и правых фотопластинок, снятых с некоторого базиса. Стереомодель позволяет провести необходимые измерения, высокая точность которых обеспечивается применением стереокомпаратора. Объектами измерения могут служить значительные по площади обнажения (рис. 9). При этом нет необходимости применения масштабной накидной сетки, что позволяет дистанционно в сложных высокогорных условиях проводить измерения на труднодоступных участках.

Полевые работы. Необходимое оборудование: фототеодолит с заряженными в кассеты пластинками, рулетка или мерная лента, белая масляная краска и кисточка.

Напротив выбранного объекта наблюдения разбивают базис, который закрепляют на местности краской или кольями. При возможности на площадке краской пишут индекс и номер объекта измерения, например ФТ-6, и перед съемкой устанавливают кар-

точку с датой, отмечая левый и правый снимки соответственно индексами Л и П. Но эти операции можно делать и непосредственно на пластинке после ее проявления. При оборудовании фототеодолитных площадок необходимо подготовить ориентирные знаки для последующего быстрого обнаружения объекта и базиса. На видном месте краской пишут индекс и номер площадки, а стрелками указывают направления на объект съемки и базис. Данные об ориентирных знаках заносят в паспорт. Фототеодолитной съемкой с точек базиса заканчивают оборудование объекта измерения. В паспорт вносят сведения о длине базиса, высоте стояния инструмента и направлении съемки. Во время съемки необходимо пользоваться экспонетром и избегать прямого попадания солнечных лучей на обнажение. Фотопластинки обязательно проявляют в полевых условиях.

Камеральные работы. С правой фотопластинки делают контактный фотоотпечаток, который вклеивают в паспорт. С учетом полученного изображения на отпечатке тушью ограничивают измеряемую площадь; аналогичную операцию делают на правой фотопластинке через светостол. На всех последующих по времени правых фотопластинках этот контур повторяется. Такая последовательность операций обусловлена тем, что ввиду большого увеличения в поле зрения стереокомпаратора попадает очень маленькая площадь объекта и на ней можно проводить только измерения сноса частиц и их размера. Общее представление об объекте измерения и обоснованное выделение измеряемой площади по нему сделать невозможно, что также относится и к негативному изображению на фотопластинках.

Объектом измерения в данном методе являются обрывистые склоны (см. рис. 9). Масштаб съемки в каждой точке склона можно принять одинаковым и определить его однажды на стереокомпараторе в центральной части измеряемой области. Все измерения на стереокомпараторе проводят в масштабе фотопластинок и только истинное отступление стенки вычисляют с учетом масштаба съемки M из отношения базиса B к параллаксу P , т. е. $M = B/P$.

Последовательность просмотра фотопластинок на стереокомпараторе соответствует системе (22). Техника просмотра заключается в следующем. Начиная с верхней части оконтуренной зоны, слева направо по горизонтали просматривают части объекта измерения, попадающие в поле зрения объектива стереокомпаратора. В крайнем правом положении объектив смещают вниз по вертикали на шаг, равный его диаметру. Затем просмотр идет справа налево и т. д. до полного охвата всей измеряемой площади.

При просмотре по двоянному изображению на стереокомпараторе фиксируют снесенные частицы, определяют их форму по табл. 9, измеряют максимальный диаметр в масштабе фотопластинки. Результаты заносят во вспомогательную табл. 11 к паспорту. Снесенные частицы нумеруют по мере обнаружения, но на фотопластинках не отмечают. Площадь оконтуренного объекта измерения определяют планиметром либо палеткой на фотопластин-

Форма вспомогательной таблицы к паспорту метода фототеодолитных площадок

Номера сплесных частей	Дата съемки	Форма частей	Переходный коэф- фициент K	Коэффициент фор- мы α	Размеры по пластинке					Масштаб объекта измерения β	Истинное отступление стенки обнажения $L = l/\beta$, мм
					максимальный диаметр $d_{\max}$, мм	объем частей $V_i = d_{\max}^3 \alpha / K^3$, мм ³	суммарный объем частей $V' = \sum V_i$, мм ³	площадь фото- теодолитной площадки S , мм ²	отступление стенки обнажения $l = V'/S$, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

ке или контактным фотоотпечатке. Все операции по определению истинного отступления склона целесообразно проводить по табл. 11. Конечный результат вносят в паспорт для вычисления экспериментальной линейной скорости денудации и других видов скоростей.

МЕТОД ФОТОТЕОДОЛИТНЫХ ПЛОЩАДОК ПО ОСЫПАМ

Данный метод разработан в процессе стационарных исследований ЭГП в зоне БАМа [28]. При просмотре фототеодолитных снимков селевых конусов выноса по сдвоенному изображению были обнаружены вновь появившиеся отдельные обломки. По разным причинам этот эффект не применим при изучении селевых выносов. Было высказано предположение, что он может быть использован для измерения скорости денудации, поскольку сносимые с обрывистых склонов обломки должны попадать на поверхность прилегающих осыпей и уже как вновь появившиеся могут фиксироваться по сдвоенному изображению при использовании стереомодели с одновременными левыми и правыми снимками. Проведенные специальные работы подтвердили это предположение, что и послужило основанием разработки уже конкретного метода фототеодолитных площадок (по осыпям).

Сущность его заключается в том, что на основании фототеодолитной съемки обрывистого склона с неразмываемой осыпью у его подножия при использовании стереомодели из одновременных левых и правых снимков на осыпи выявляют обломки, поступившие за время между съемками, измеряются их объем и площадь сноса и по соотношению измеренных величин определяют линейную скорость денудации зоны сноса — обрывистого склона.

Полевые работы. Необходимое оборудование: фототеодолит с заряженными кассетами, рулетка или мерная лента, белая масляная краска и кисточка.

В процессе рекогносцировочных маршрутов выбирают объекты измерения — обрывистые участки склонов с неразмываемыми осыпями у их подножия. Существенное значение при подготовке объ-

екта измерения имеет выбор мест стоянки инструмента напротив снимаемого участка склона с осыпью. В горных условиях это может быть сложной задачей, что необходимо учитывать при планировании работ. Напротив объекта измерения разбивают базис длиной из расчета 1 : 5 или 1 : 10 от расстояния до объекта. Выбор базиса кроме физической возможности производства с него съемки должен удовлетворять следующим условиям.

1) возможности захвата при съемке всей зоны сноса и накопления; в некоторых случаях допустима съемка только зоны накопления — осыпи, но тогда площадь сноса должна быть измерена непосредственно в полевых условиях;

2) обеспечивать ракурс съемки для свободного просмотра всей поверхности зоны сноса и аккумуляции; при этом следует учитывать, что наиболее крупные обломки обычно скатываются к основанию осыпи;

3) находиться на таком расстоянии от снимаемого объекта, чтобы разрешающая способность инструмента позволяла фиксировать снесенные обломки горных пород и определять их размеры.

Все другие операции по оборудованию объекта измерения аналогичны описанным выше в методе фототеодолитных площадок. После фототеодолитной съемки в течение всего времени наблюдения ходить по осыпи нельзя — последняя всегда должна находиться в естественном состоянии.

Камеральные работы сходны с описанными в методе фототеодолитных площадок, поэтому здесь отметим только их отличительные черты.

Прежде всего с правой фотопластинки изготавливают контактный фотоотпечаток. На нем определяют и разграничивают тушью зоны сноса (обрывистый склон) и аккумуляции (осыпь) (см. рис. 4). Затем эту границу обычно через светостол переносят на правую пластинку. Планиметром или палеткой определяют площадь зоны сноса по пластинке или контактному фотоотпечатку.

На стереокомпараторе пары фотопластинок просматривают по системе (22). В центре зоны сноса определяют ее масштаб, умножением квадрата которого на площадь зоны сноса по пластинке вычисляют истинную площадь зоны сноса.

Операцию обнаружения снесенных обломков и определения их объема проводят только в зоне аккумуляции. Обломки на осыпи находятся на существенно разном расстоянии от базиса и изображение их имеет разный масштаб в отличие от зоны сноса, где изменением масштаба в разных точках можно пренебречь. Поэтому по мере обнаружения снесенных обломков на осыпи на стереокомпараторе необходимо сразу определять их истинный максимальный диаметр и все вычисления проводить в истинном масштабе. Эта специфика отражена в форме вспомогательной таблицы к паспорту (табл. 12). Конечный результат — отступление склона — вносят в паспорт, где с учетом времени измерения определяют экспериментальную линейную скорость денудации и другие виды скоростей (см. табл. 4).

**Форма вспомогательной таблицы к паспорту
метода фототеодолитных площадок (по осыпям)**

Дата съёмки	Номер об- ломка	Базис съём- ки B , мм	Парал- лак- с P_i	Масштаб съёмки $M_i = B/P_i$	Максимальный диаметр обломков		Форма обломков	Переход- ный коэф- фициент K
					по пластинке d_i , мм	истинный $D_i =$ $= d_i \cdot M_i$, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Коэффи- циент формы α	Объём обломков $V_i = \frac{D_i^3 \cdot \alpha}{K^3}$, мм ³	Общий объём обломков $V = \sum_{i=1}^n V_i$, мм ³	Площадь зоны сноса по пластинке S , мм ²	Масштаб съёмки зоны сноса β	Истинная площадь зоны сноса $S = S \cdot \beta^2$, мм ²	Отступление зоны сноса $L = \frac{\sum V_i}{S}$, мм
10	11	12	13	14	15	16

МЕТОД ПРОКРАШЕННЫХ СКЛОНОВЫХ СТВОРОВ

Данный метод применялся при измерении скорости движения грубообломочного материала на поверхности осыпей и курумов [4]. Сущность его заключается в измерении смещений отдельных обломков относительно закрепленного створа из окрашенных обломков, размещенного параллельно склону. Среднее из смещений отдельных обломков служило мерой скорости процесса с учетом времени измерений.

Однако Е. А. Толстых [23] были показаны ошибочность такого толкования скорости смещения чехла грубообломочного материала на склонах и значительное завышение результатов измерений. Это обусловлено тем, что при расчетах скорости не учитывались обломки, оставшиеся неподвижными (см. гл. 2).

Рекомендуя данный метод для практического применения, отметим необходимость дополнительной операции — подсчета общего числа покрашенных обломков в створе и учета их при вычислении скорости смещения. Эта операция является решающей для точности измерений.

Отличительной чертой от известного применения покрашенных створов при изучении ЭГП является и вся целостная система операций, позволяющая измерить скорость процессов в рамках данной методики и рекомендовать эту технологическую разработку для применения на производстве в качестве метода. Следует от-

метить, что метод покрашенных склоновых створов в общем характеризуется невысокой точностью главным образом вследствие ограниченного числа наблюдаемых обломков. Поэтому он применим только в тех случаях, когда имеет место достаточно активное смещение обломков на поверхности. Так, с его помощью не удалось измерить скорость движения курумов на стационаре в Прибайкалье. Кроме того, этот метод недостаточно технологичен из-за необходимости применения значительного объема ручного труда как при оборудовании объектов, так и при снятии показаний.

В целом реализация метода осуществляется только в процессе полевых работ и состоит из нескольких последовательных операций, практическая целесообразность которых проверена на стационарах в Прибайкалье. По простирацию склона белой масляной краской окрашивается створ между двумя реперами по натянутой веревке или проволоке. Реперами могут служить деревья, выходы коренных пород или в крайнем случае забитые колья. Длина створов может быть различной — от 10 до 100 м.

Существенной деталью является окрашивание сплошной линией по обломкам, а не мечение отдельных частиц. Наличие линии белой краски не только на поверхности, но и по краям каждого из обломков облегчит обнаружение перевернутых при смещении обломков. Кроме того, сплошная белая линия на склоне позволяет легче обнаруживать объекты наблюдения при дистанционных измерениях, о технике которых будет сказано ниже.

В районе одного из реперов крупными знаками пишут индекс и номер створа, например СС-10. Для внесения в паспорт делают фотографию общего вида размещения створа на местности и снимок крупности обломков с масштабной накидной сеткой (рис. 10). Далее подсчитывают общее число покрашенных обломков, т. е. тех, за которыми будут вестись наблюдения. Измеряют крутизну склона. Эти данные вносят в паспорт. На этом заканчивается оборудование покрашенных склоновых створов. При оборудовании створов и последующих измерениях следует избегать нарушений естественного течения склонового процесса.

Режимные наблюдения производят путем периодического измерения величины смещения отдельных обломков, т. е. расстояния от места их обнаружения до первичного размещения в створе. Измерение смещений можно осуществлять двумя способами.

1. Прямым, когда в процессе маршрутного обследования рулеткой измеряют расстояние от смещенных обломков до первоначального их положения в створе. Следует иметь в виду, что все срочные измерения необходимо вести только относительно створа для частиц, смещенных из него за время между измерениями. При этом ранее смещенные обломки из общего их числа в створе вычитают, а их смещение не учитывают. Только средние величины за некоторый промежуток времени вычисляют как отношение суммы смещений всех обломков к общему их числу в створе. Сравнение срочных измерений со средними за все время наблюдений

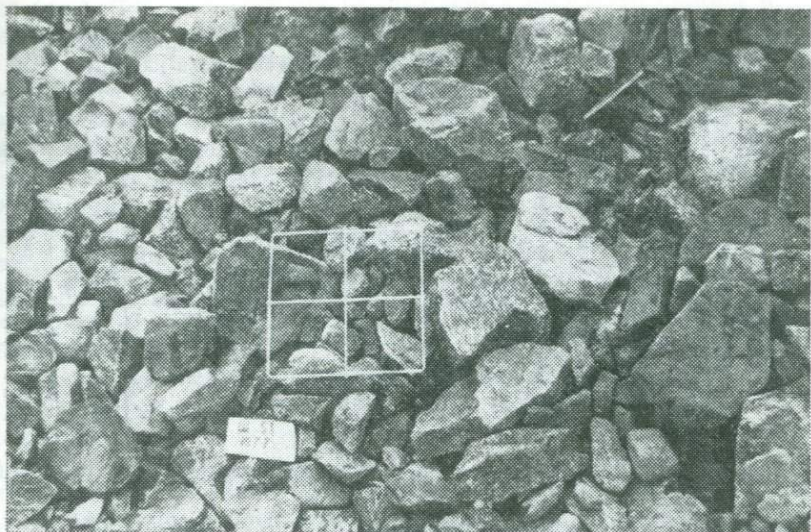


Рис. 10. Обломки на поверхности курумов с масштабной накидной сеткой

является одной из реализаций принципа дублирования и может служить как для контроля точности измерений, так и для выявления динамики процесса и факторов, его обуславливающих.

2. Дистанционным, когда с летательных аппаратов производят плановую или перспективную аэрофотосъемку покрашенных створов обычно с применением телеобъективов в масштабе, позволяющем хорошо различать отдельные обломки. При этом измерение величины смещений отдельных обломков также возможно, хотя и с некоторой ошибкой. Из масштабного снимка крупности обломков на створе (см. рис. 10), который находится в паспорте, определяют их средний размер. Последний обычно мало меняется в пределах объекта измерения и служит масштабом при измерении расстояния от створа до смещенных частиц. При использовании аэрофотосъемки необходимо учитывать общие рекомендации, которые будут изложены в гл. 9.

В результате всех указанных операций с учетом времени измерения определяют экспериментальную линейную скорость смещения материала по склону и через нее вычисляют все остальные, используя мощность смещаемого слоя, его плотность и крутизну склона. В целом все операции проводят с фиксацией их в паспорте, в том числе с использованием табл. 13.

МЕТОД СКЛОНОВЫХ СТЕРЕОФОТОПЛОЩАДОК

Недостатки метода покрашенных склоновых створов вызвали необходимость поиска новых приемов измерения скорости смещения грубообломочного материала. Практически эта задача была

Определение скорости смещения грубообломочного материала методом прокрашенных склоновых створов (форма таблицы в паспорте)

Дата измерения	Интервал времени между измерениями t , дни	Общее число обломков в створе N	Величина смещения отдельных обломков L_i , мм	Суммарное смещение обломков $\sum_{i=1}^n L_i$, м	Величина смещения любого обломка $L = \sum_{i=1}^n L_i / N$, мм	Мощность смещаемого слоя h , м	Плотность смещаемого слоя ρ , г/см ³	Скорость смещения по склону		
								линейная $V_l = 365 \cdot L / t$, мм/год	объемная $V'_0 = V_l \cdot h$, л/(м·год)	по массе $V''_0 = V'_0 \cdot \rho$, кг/(м·год)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

решена на стационарах Прибайкалья в виде метода фототеодолитных склоновых площадок (см. ниже).

Метод склоновых стереофотоплощадок разработан как одна из модификаций приемов, примененных в методе фототеодолитных склоновых площадок [23], и основан на использовании простейших стереомоделей, создаваемых при фотосъемке объекта любительскими фотокамерами с некоторого базиса.

Две основные составные части характеризуют существо этого метода:

1) резкое увеличение числа наблюдаемых обломков, т. е. всех различных обломков на площади измерения, число которых достигает 500 и даже 1000 штук;

2) дистанционное обнаружение смещенных обломков ввиду их вдвоенного изображения на стереомодели при просмотре разновременных левых и правых снимков и измерение величины их смещения.

В целом это позволяет резко повысить точность и технологичность измерений, а с учетом того, что метод не требует какого-либо специального оборудования, считать реальной возможность его массового применения в любых производственных условиях.

Полевые работы. Необходимое оборудование: фотоаппарат, телеобъектив (обычно шестикратный, например фоторужье), рулетка, белая масляная краска, кисточка.

В реальных условиях очень важной и часто непростой операцией является выбор объекта измерения. В результате фотосъемки с точек базиса получается пара перспективных снимков, на которых должны быть четко различимы грубые обломки на поверхности склона. Базис должен размещаться таким образом, чтобы съемка велась перпендикулярно к наблюдаемому склону. Но специфика метода такова, что без ущерба для точности можно допускать отклонение до 45°. Это обусловлено разметкой площадки и известным размером обломков. С предполагаемого базиса че-

рез объектив проводят предварительный просмотр склона и определяют приблизительные границы площади измерения.

На выбранном участке с помощью рулетки и компаса оборудуют склоновую стереофотоплощадку наблюдения в виде квадрата, углы которого отмечают линиями (длиной по 2 м), покрашенными белой масляной краской. Измеряют длину стороны квадрата. Внутри площадки (полосами белой масляной краски) обозначают две квадратные площадки со стороной 2 м (обычно на углах стереофотоплощадки). Производят фотосъемку крупности обломков с масштабной накидной сеткой (см. рис. 10). В пределах наблюдаемой площади краской пишут индекс и номер площадки, например СОФ-5, так чтобы они по возможности были различимы на снимках.

В паспорт вносят: правый фотоснимок после камеральной обработки, снимок крупности обломков и данные о крутизне склона, плотности и мощности смещаемого слоя и т. д. Длина базиса выбирается из соотношения от 1 : 5 до 1 : 10 к расстоянию до объекта съемки. Точки базиса закрепляются краской или реперами, а стрелками указывается направление съемки. Фотосъемкой с точек базиса заканчивается оборудование склоновой стереофотоплощадки. Последующие режимные наблюдения состоят в повторной фотосъемке объекта тем же фотоаппаратом с фиксированного базиса.

Камеральные работы. В процессе камеральных работ определяют общее число наблюдаемых обломков и величину смещения отдельных обломков за время измерения. Прежде всего изготавливают пары фотоотпечатков размером 13×18 см или крупнее. На каждом из них пишут тушью в верхнем правом углу индекс Л (левый) или П (правый) и дату съемки. На снимке в пределах малых (пробных) площадок размером 2×2 м подсчитывают число обломков и их среднее значение n для данной площадки s (4 м²). Общее число обломков N на всей наблюдаемой площади S подсчитывают по уравнению:

$$N = n \cdot S / s. \quad (23)$$

Обнаружение смещенных обломков ведется при просмотре разновременных левых и правых снимков под стереоскопом по системе (22). При этом по sdвоенному изображению фиксируют точки начального положения обломка и нового его местонахождения. По мере обнаружения под стереоскопом обломки нумеруют тушью на правом снимке, а стрелкой от центра обломка в первоначальном положении до центра обломка в конечном положении (не существующего на правом снимке) отмечают путь его перемещения. Длину пути каждого обломка определяют по числу обломков на этом пути, умноженному на их средний размер, установленный по масштабному снимку крупности обломков (см. рис. 10) или по отношению стороны малых квадратов к числу обломков на ней. Данные о размере среднего обломка вносят в паспорт и используют как постоянную величину при измерениях. Исходя из суммарного смещения отдельных обломков и общего их числа, вычисляют сме-

**Форма вспомогательной таблицы к паспорту
метода склоновых стереофотоплощадок**

Дата измерения	Интервал времени между измерениями t , дни	Число обломков на пробной площадке n	Площадь пробной площадки S , m^2	Площадь стерео- фотоплощадки S , m^2	Общее число облом- ков на стереофото- площадке $N = n \cdot S/S$	Номер смещенного обломка	Размер среднего обломка d , мм	Число обломков на пути смещения n_i	Величина смещения отдельного обломка $L_i = d \cdot n_i$, мм	Суммарное смещение обломков $\sum L_i$, мм	Величина смещения любого обломка (всего чехла) $L = \sum L_i / N$, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

щение любого обломка за время измерения, а с учетом времени измерения определяют экспериментальную величину линейной скорости смещения материала по склону по уравнениям (1) и (2). Используя данные о крутизне склона, плотности и мощности смещаемого слоя, вычисляют все остальные виды скоростей смещения материала (см. гл. 2). Необходимые определения целесообразно проводить в паспорте по вспомогательной табл. 14.

МЕТОД ФОТОТЕОДОЛИТНЫХ СКЛОНОВЫХ ПЛОЩАДОК

Данный метод разработан в процессе стационарных исследований ЭГП в Прибайкалье [23]. Сущность его заключается в обнаружении смещенных обломков по двuoенному изображению при просмотре одновременных левых и правых фотопластинок, измерениях величины смещений обломков и определении скорости смещения относительно всех наблюдаемых обломков, включая неподвижные. При этом компенсируются недостатки метода покрашенных склоновых створов, состоящие: 1) в низкой точности из-за незначительного числа наблюдаемых обломков; 2) в необходимости применения большого объема ручного труда, что особенно существенно в сложных высокогорных условиях.

Кроме того, если при малой подвижности материала упомянутый метод неприменим, то при большой подвижности материала на точность измерений будет сильно влиять нарушение естественных условий при неизбежном хождении по склону.

Рекомендуемые операции по оборудованию объектов наблюдений и заполнению паспорта аналогичны ранее изложенным в методе склоновых стереофотоплощадок, но съемка с базиса производится фототеодолитом. Последовательность просмотра фототеодолитных пластинок соответствует системе (22). Определение скорости смещения материала на склоне также целесообразно проводить в соответствующем паспорте с использованием формы табл. 14 (без 8-й и 9-й граф). В паспорт должны вноситься дан-



Рис. 11. Снимок курума для измерения скорости смещения грубообломочного материала методом фототеодолитных склоновых площадок. Забайкалье, Баргузинская впадина, стационар «Алла» (ВСЕГИНГЕО)

ные о длине базиса, высоте стояния инструмента и азимуте съемки.

Здесь целесообразно отметить специфические особенности метода фототеодолитных склоновых площадок: 1) высокая разрешающая способность фототеодолитных снимков дает возможность наблюдать тысячи и даже десятки тысяч обломков (рис. 11); 2) с помощью стереокомпаратора производится высокоточное измерение смещения обломков, а не приблизительное, как в методе склоновых стереофотоплощадок (графа 10 в табл. 14 заполняется, исходя из обычной практики измерений на стереокомпараторе); точность измерения на стереокомпараторе составляет первые сантиметры при расстоянии до объекта 150—200 м; 3) эти особенности метода обуславливают практически неограниченную точность метода при измерении смещения грубообломочного материала на склонах, происходящего путем перемещения отдельных обломков.

Следует отметить необходимость ориентации направления фототеодолитной съемки нормально к направлению склона. Значительные отклонения от этого направления сильно осложняют технику измерений на стереокомпараторе.

В методе склоновых стереофотоплощадок рекомендовалось на местности размечать и измерять наблюдаемую площадь и площадь пробных площадок. Техника измерений фототеодолитных снимков на стереокомпараторе позволяет не производить эти ра-

боты в полевых условиях. Практически все операции с достаточной точностью можно выполнить в камеральных условиях. Для этого измеряемую площадь и пробные площадки размечают на правой фотопластинке, а с помощью известной техники измерений на фототеодолитных снимках [17] определяют составляющие правой части уравнения (23) и вычисляют общее число обломков на объекте наблюдения, необходимое для расчета смещения любого обломка по склону за время измерения и определения экспериментальной скорости смещения материала по склону по уравнениям (1) и (2) и остальных видов скоростей (см. гл. 2) с учетом мощности смещаемого слоя, его плотности и крутизны склона. Все указанные данные должны содержаться в паспорте каждой фототеодолитной склоновой площадки.

Для выполнения этих измерений непосредственно по фотопластинкам необходимо использовать определенные формы вспомогательных таблиц к паспорту, но здесь нецелесообразно их приводить, поскольку это относится исключительно к известной технике фотограмметрических работ [17].

Глава 6

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП, ОСНОВАННЫЕ НА УЛАВЛИВАНИИ СНЕСЕННОГО МАТЕРИАЛА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Улавливание снесенного материала как содержательный принцип измерения давно и широко используется при изучении самых разных экзогенных процессов. Сущность его состоит в измерении объема или массы материала, снесенного в результате ЭГП и накопившегося на каком-либо элементе рельефа. Для определения скорости процесса необходимо также знать площадь поверхности, с которой происходил снос, и время, за которое это произошло. Специфика определения этих данных позволяет выделить достаточно много методов измерения параметров ЭГП, основанных на указанном содержательном принципе измерений.

В литературе известны измерения параметров ЭГП по объему осадков, отложенных в естественных и искусственных водоемах, объему коррелятных аккумулятивных форм у основания склонов, массе материала, накопившегося на временных ловушках (снежниках, ледяном припае и т. д.), объему или массе материала в искусственных ловушках в процессе режимных наблюдений и т. д. [3, 4, 7, 19, 34, 35, 38].

Несомненна целесообразность использования широкого диапазона таких измерений в зависимости от конкретных природных ус-

ловий. В то же время весьма актуальна их технологическая проработка для обеспечения возможности применения на производстве. Пример ее предлагается ниже в виде ряда методов.

МЕТОД ПЛОЩАДОК-ЛОВУШЕК

Впервые в нашей стране искусственные улавливающие устройства были применены Е. Н. Лисичек, М. И. Ивероновой [4] для измерения скорости осыпания. Технологическая проработка метода площадок-ловушек была сделана А. Ф. Пашинским, А. А. Ключиным, Е. А. Толстых в 1964 г. в процессе стационарных исследований ЭГП в юго-восточной части Крыма [7, 12]. Он предназначен для измерения скорости денудации горных пород на обрывистых участках склонов. Метод включает комплекс операций по оборудованию искусственных улавливающих устройств у основания обнажений с известной площадью и периодическому измерению массы или объема материала, накапливающегося в ловушках, с последующим определением скорости денудации разного вида в системе единиц скорости отступления склона (см. табл. 2).

В качестве объектов наблюдения выбираются естественные или искусственные обрывистые участки склонов, у которых с минимальными затратами могут быть оборудованы улавливающие устройства. При использовании искусственных обрывистых склонов (стенки карьеров, откосов дорог и т. д.) следует иметь в виду, что на них устойчивый разрез коры выветривания и скорость сноса материала, идентичные естественным склонам сходной морфологии, формируются обычно в течение первых нескольких лет со времени образования. Поэтому объективные данные о ходе естественного процесса по измерениям на искусственных обнажениях можно получать только после формирования установившегося разреза коры выветривания.

У основания обнажений оборудуются улавливающие устройства, которые могут быть бетонными (рис. 12), деревянными и т. д. Важно, чтобы поверхность их была достаточно гладкой для облегчения сбора накопившегося материала. Должна быть обеспечена возможность стекания воды атмосферных осадков, но без выноса твердых частиц. Следует отметить, что крупные падающие обломки могут отскакивать от поверхности ловушки и вылетать за ее пределы. Поэтому внешний край ловушки должен быть оборудован стенкой или металлической сеткой высотой до 0,5 м (см. рис. 12).

В удобном месте на объекте белой масляной краской пишут индекс и номер площадки-ловушки, например П-7. Объект в целом фотографируют и вместе со снимком общего вида размещения площадки-ловушки на местности вносят в паспорт.

Собственно измерения заключаются в периодическом определении массы или объема материала, накопившегося в ловушке за определенное время. Взвешивание лучше всего производить бытовыми весами «безмен». В одно из измерений берется проба для

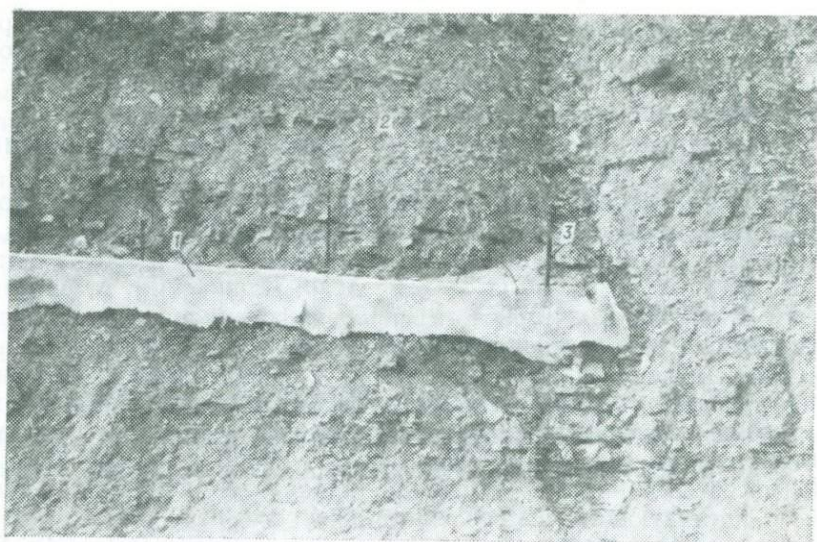


Рис. 12. Площадка-ловушка для измерения скорости денудации с обрывистых склонов, сложенных верхнеюрским флишем. Юго-восточная часть Крыма, стационар «Ворон» (ПГО «Крымгеология»).

1 — бетонированное улавливающее устройство; 2 — обрывистый участок склона; 3 — штырь для закрепления улавливающей металлической сетки

определения гранулометрического состава продуктов сноса, результаты которого вносят в паспорт.

Масса материала в ловушке, отнесенная к площади склона, с которого происходит снос, дает величину сноса по массе с удельной площади обнажения. Исходя из нее, с учетом времени измерения определяется экспериментальная скорость денудации по массе, а через плотность — остальные виды скоростей денудации. Все вычисления целесообразно проводить по табл. 15, входящей в паспорт площадки-ловушки.

Таблица 15

Определение скорости денудации методом площадок-ловушек
(форма таблицы в паспорте)

Дата измерения	Интервал времени между измерениями t , дни	Площадь обнажения S , м ²	Плотность горных пород ρ , г/см ³	Масса снесенного материала m , кг	Скорость денудации		
					по массе $V_m = \frac{m \cdot 365}{S \cdot t}$, кг/(м ² ·год)	объемная $V_o = V_m \cdot \rho$, л/(м ² ·год)	линейная $V_l = \sqrt[3]{V_o}$, мм/год
1	2	3	4	5	6	7	8

Применение траншей-ловушек известно из практики измерения скорости движения грубообломочного материала на склонах. Сущность метода заключается в определении массы материала, улавливаемого в специально оборудованных выемках, размещенных по простиранию склона, и последующей оценке скорости движения материала с учетом времени измерения. Метод применим для измерения скорости движения материала на поверхности курумов и осыпей (применялся, например, В. К. Лапердиным, Ю. Б. Тржцинским), скорости плоскостного смыва и т. д.

Следует отметить, что в результате проходки траншей на склонах неизбежной является подрезка движущегося слоя. Снятие подпора, имеющегося в условиях естественного сложения склона, должно привести к увеличению скорости движения материала. Это может дать и качественное искажение оценки ЭГП. Указанная особенность заставляет считать, что метод траншей-ловушек, строго говоря, не должен входить в группу методов изучения процессов в естественных условиях (см. табл. 8). В то же время, несмотря на существенные затраты ручного труда при его применении, практичность метода несомненна, особенно в случаях дублирования измерений другими методами.

На выбранном участке склона проходится траншея глубиной 0,5—1,0 м и длиной 2—5 м. Траншея обязательно выстилается каким-либо гладким покрытием (жестью, досками и т. д.), а стенки ее укрепляются обычно сплошным рядом деревянных кольев до поверхности, кроме верхней стенки, на которой высота подпора ограничивается нижним уровнем смещаемого (измеряемого) слоя (рис. 13). Для исключения накопления воды предусматривается возможность фильтрации ее обычно через щели по краям траншеи. При измерении плоскостного смыва и выемке устанавливается металлическая емкость (ванна), один край которой врезан в склон вблизи уровня его поверхности.

В удобном месте белой краской пишут индекс и номер объекта, например Т-7. Делается фотоснимок крупности обломков на поверхности склона с масштабной накидной сеткой (см. рис. 10) и желательно с номером объекта. Эту фотографию вместе со снимком общего вида размещения траншей-ловушки на местности вносят в паспорт. На этом заканчивают оборудование объекта.

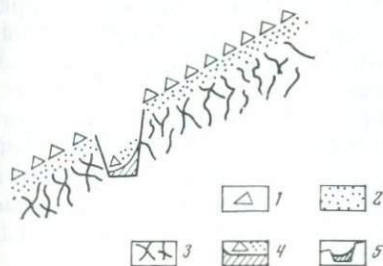


Рис. 13. Схема траншей-ловушки при измерении скорости движения курумов.

1 — чехол грубообломочного материала на склоне (курум); 2 — мелкозем со щебнем; 3 — трещиноватые коренные породы; 4 — искусственный изолирующий слой на дне траншей-ловушки со смещенными обломками; 5 — траншея-ловушка

**Определение скорости смещения материала на склонах
методом траншей-ловушек (форма таблицы в паспорте)**

Дата измерения	Интервал времени между измерениями t , дни	Длина траншеи l , м	Мощность смещаемого слоя h , м	Плотность смещаемого слоя ρ , г/см ³	Масса смещенного материала m , кг	Скорость смещения материала по склону		
						по массе $V' = \frac{M \cdot 365}{m \cdot t}$, кг/(м·год)	объемная $V' = \frac{V}{t}$, л/(м·год)	линейная $V_l = V /h$, мм/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Снятие показаний заключается во взвешивании или измерении объема материала, накопившегося на дне траншеи за определенное время. В одно из измерений отбирается проба для определения гранулометрического состава, результаты которого заносят в паспорт. Все необходимые операции по методу траншей-ловушек целесообразно проводить в паспорте (табл. 16).

МЕТОД ОВРАЖНЫХ УЛОВИТЕЛЕЙ

Имеется обширный отечественный и зарубежный опыт по перехвату твердого стока для оценки активности ЭГП. Анализ теоретического содержания этих исследований и полученных экспериментальных данных не входит в задачи настоящей работы. Здесь рассмотрены лишь некоторые аспекты применения задержания твердого стока на примере оврагов юго-восточной части Крыма для оценки денудации горных пород, проводимой на стационаре «Ворон» ПГО «Крымгеология».

Техническое решение задачи заключается в задержании твердого стока наблюдаемых оврагов с помощью фильтрующей плотины или лотка и периодическом измерении объема накопившегося материала, который является мерой отступления поверхности склонов наблюдаемых оврагов. Поперек русла за плотиной закладывается ряд (обычно 4—5) закрепленных на склонах нивелирных профилей или оборудуются несколько створок из постоянных мерных рек в русле. По днищу оврага от плотины до водораздела прокладывается нивелирный ход. Составляется геоморфологическая карта оврага обычно в масштабе 1 : 1000 или 1 : 2000. Делают фотографии плотины со стороны оврага (рис. 14) и общего вида оврага обычно с противоположного склона (рис. 15). В удобном месте белой краской пишут индекс и номер объекта. Все полученные данные вносят в паспорт. На этом заканчивается оборудование оврага-ловителя.

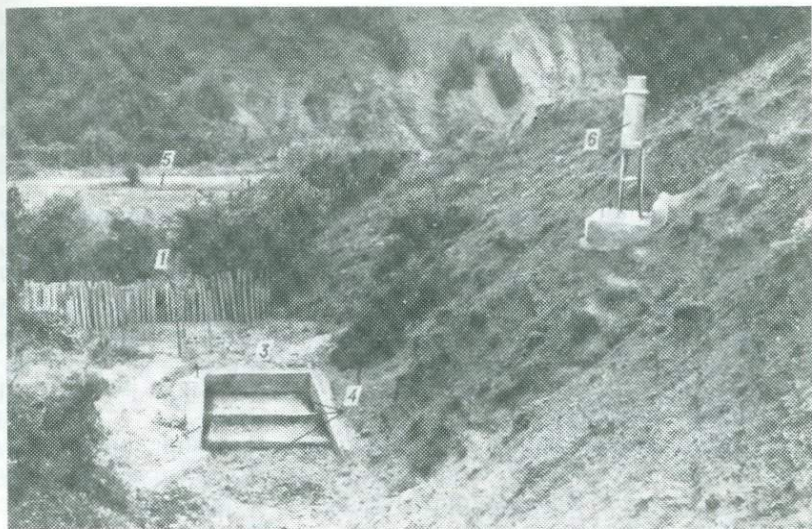


Рис. 14. Пример реализации метода овражных уловителей. Юго-восточная часть Крыма, стационар «Ворон» (ПГО «Крымгеология»).

1 — плотина из виноградных шпалер; 2 — бетонный лоток; 3 — отложения овражных выносов, задержанных плотиной; 4 — отложения овражных выносов, задержанных лотком; 5 — р. Ворон; 6 — pluвиограф

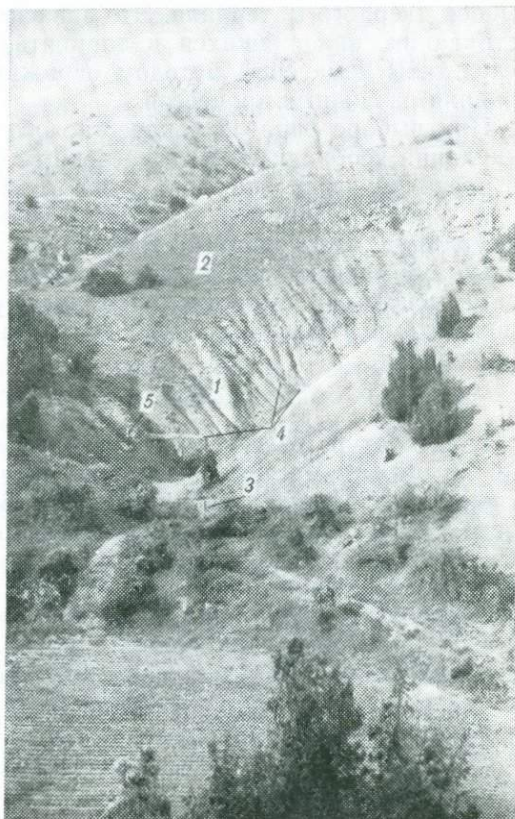


Рис. 15. Общий вид на овраг, оборудованный наносоуловителями. Юго-восточная часть Крыма, стационар «Ворон» (ПГО «Крымгеология»).

1 — склоны с физической корой выветривания, лишенные растительности; 2 — склоны с химической корой выветривания, покрытые травянистой растительностью; 3 — плотина из виноградных шпалер; 4 — площадки-ловушки; 5 — pluвиограф

Периодические измерения объема материала, задержанного плотиной, производят путем повторного нивелирования закрепленных профилей или снятия показаний с мерных реек и сравнения этих данных с предыдущими. Через плотность вычисляют массу снесенного материала. Эта величина, отнесенная к площади оврага, характеризует среднее отступление поверхности по массе за время измерения.

Интерпретация результатов измерений методом овражных уловителей неоднозначна. Увеличение размера области измерения, по сравнению с другими методами, которая, на первый взгляд, может дать более точный результат, на самом деле существенно усложняет возможность корректного толкования полученных данных. В юго-восточной части Крыма склоны оврагов обычно сложены качественно разными разрезами коры выветривания с резко различной скоростью денудации (по Е. А. Толстых, А. А. Ключину). Суммарный снос в овраге улавливаемый плотиной, очень трудно разделить на качественно отличные элементы поверхности денудационных склонов. Задержанный плотиной материал можно считать и мерой руслового процесса, но известно из практики измерений, что большие осадки могут не дать заметного твердого стока, а относительно небольшие могут формировать значительные выносы твердого материала. Это зависит от объема продуктов выветривания, накопившихся в элементарных эрозионных формах. Результаты измерений методом овражных уловителей зависят от влияния различных процессов.

При выборе оврагов в качестве объектов измерения скорости денудации необходимо быть уверенным, что денудация в них имеет превалирующее значение с одного качественно однообразного вида склона. Например, в юго-восточной части Крыма таковыми могут быть элементарные эрозионные формы с преобладанием только обрывистых или только пологих склонов. Определение скорости денудации методом овражных уловителей целесообразно проводить по табл. 15, которая должна входить в паспорт объекта наблюдения.

МЕТОД ОСЫПНЫХ ТЕЛ

В литературе известны примеры определения скорости денудации по объему материала, отложенного у основания обрывистых склонов за известный отрезок времени [34]. Специфические особенности такого рода измерений, связанные с накоплением осыпных тел во времени, позволяют выделить метод осыпных тел. Сущность его заключается в измерении массы неразмываемых осыпей у оснований естественных или искусственных обрывистых склонов, а также в определении времени накопления осыпей и скорости денудации склонов (в системе единиц скорости отступления поверхности) по соотношению измеренных величин. Возможно также и решение обратной задачи — определения возраста поверхностей, на которых накапливаются осыпи, исходя из измерений массы осыпей и скорости денудации.

Возможность указанных измерений вытекает из уравнения $V_m = m/S \cdot t$, где V_m — среднемноголетняя скорость денудации по массе в системе единиц измерения отступления поверхности склона, кг/(м·год); m — масса осыпи, кг; S — площадь осыпного склона, м²; t — возраст склона, годы. Практический интерес представляют величины V_m и t , относительно каждой из которых может быть решено указанное уравнение и соответственно сделано их измерение.

Отметим специфические особенности экспериментального определения этих переменных.

1. Возможность прямого измерения массы осыпных тел, как, например, массы снесенного материала в методе площадок-ловушек, практически исключается вследствие неизбежности больших затрат. Наиболее реально измерение их объемов и плотности, произведение которых даст искомую величину. Сам по себе объем осыпи не может служить мерой скорости денудаций обрывистого склона ввиду разной плотности осыпи и коренных пород, из которых она образуется [3, 7].

2. В искусственных (и свежих естественных) обрывистых обнажениях установившийся профиль коры выветривания, соответствующий естественному при данной крутизне склонов, формируется в течение первых нескольких лет, начиная с момента обнажения. В этот период скорость денудации на них больше, чем в последующие годы, и не совпадает со скоростью денудации на естественных склонах. Чтобы уменьшить ошибку, необходимо производить измерения за время, существенно превышающее период аномального сноса материала. Для разных горных пород оно, естественно, будет различным, но в целом должно быть не менее 15 лет.

3. Площадь сноса при формировании осыпи является переменной величиной вследствие постепенного покрытия обнажения телом осыпи и прекращения сноса из этой области. Эта особенность несущественна только для относительно молодых обнажений и малых объемов осыпей. В процессе формирования осыпей при отступании стенки обнажения формируется выпуклый цоколь осыпи. Это необходимо учитывать при оценке объема осыпей. Профиль ложка осыпи может быть определен геофизическими методами или с помощью градуированного металлического штыря. Однако увеличение объема осыпи во времени также является переменной величиной вследствие уменьшения площади сноса. Приведенное выше уравнение справедливо только для предельного теоретического случая, когда масса (объем) осыпи увеличивается при неизменной площади сноса. В принципе строгое решение по определению скорости денудации методом осыпных тел возможно исходя из уравнения. О. Лемана [3]. Именно в этом направлении необходимо совершенствовать данный метод. На настоящем этапе достаточно остановиться на указанном предельном случае.

4. Все вычисления наиболее удобно проводить в плоскости относительно разреза измеряемого объекта (рис. 16) при равномерном распространении осыпи вдоль склона. Однако осыпи часто

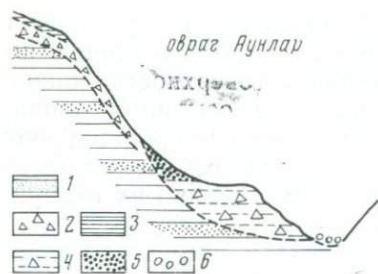


Рис. 16. Осыпь под стенкой срыва оползня в овраге Аунлар в юго-восточной части Крыма.

1 — аргиллитовый флиш с прослоями песчаника (таврическая серия); 2 — физическая кора выветривания; 3 — химическая кора выветривания; 4 — оползневые отложения; 5 — осыпные отложения; 6 — пролювиальные отложения

имеют форму конуса, вершина которого обращена к осыпному желобу. В этом случае измеряют площадь сноса и объем осыпи. Четкая приуроченность одного к другому обычно хорошо проявляется в морфологии этих элементов рельефа. В целом рекомендуемый здесь упрощенный случай метода осыпных тел включает необходимость проведения следующих операций в полевых условиях: 1) построение гипсометрического профиля поверхности обнажения и осыпи у его основания; 2) построение гипсометрического предполагаемого или измеренного профиля цоколя осыпи; 3) определение плотности тела осыпи; 4) отбор трех-четырех обломков

коренных пород для определения их плотности; 5) определение возраста осыпного склона. Эти данные вносятся в паспорт объекта, где по табл. 17 производят необходимые расчеты.

Практическую возможность применения метода проиллюстрируем измерением, сделанным по осыпи на современном оползне в овраге Аунлар в юго-восточной части Крыма, сошедшем с крутого склона из аргиллитового флиша таврической серии (см. рис. 16). Возраст наиболее старого дерева на его поверхности составил 28 лет. Эта величина и была принята за возраст оползня. Результат определения величины экспериментальной скорости денудации по массе, а также остальных видов скоростей для этого примера приведен в табл. 17. Площадь обнажения на отрезке 1 м, относительно которой определяется снос материала, взята в двух

Таблица 17

Определение скорости денудации методом осыпных тел
(форма таблицы в паспорте)

Объем осыпи на отрезке 1 м $V, \text{ м}^3$	Плотность осыпи $\rho_o, \text{ г/см}^3$	Масса осыпи на отрезке 1 м $m = V\rho_o, \text{ кг}$	Плотность коренных пород $\rho, \text{ г/см}^3$	Площадь сноса на отрезке 1 м $S, \text{ м}^2$	Время сноса материала $t, \text{ лет}$	Скорость денудации		
						по массе $V = \frac{m}{S \cdot t}, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)}$	объемная $V_o = \frac{V}{\rho}, \text{ м/(м}^2 \cdot \text{год)}$	линейная $V_l = V_o , \text{ мм/год}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	1,60	103 000	2,60	55	28	68,6	26,4	26,4
66	1,60	106 000	2,60	40	28	94,3	33,3	33,3

крайних случаях: от кромки обрыва до основания осыпи (55 м^2) и до верхней ее части (40 м^2). Такой пример позволяет оценить возможную погрешность измерения в этой операции. Для определения возраста сноса материала (возраста оползня) необходимо изменить форму табл. 17.

Глава 7

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП, ОСНОВАННЫЕ НА ФИКСАЦИИ ЦЕЛОСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ИЗМЕРЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выделение данного содержательного принципа измерения в определенной мере условно. В целом оно означает, что те или иные изменения в пространственном положении поверхности элементов рельефа, происходящие вследствие воздействия экзогенных геологических процессов, могут служить мерой активности ЭГП за определенное время.

Возможности применения этого принципа исключительно широки — известны количественные характеристики ЭГП, полученные при измерениях на площади от элементарных объектов до целых горных стран. Естественно, что при этом используются разные приемы как для оценки массопереноса в результате экзогенных процессов, так и для датирования ЭГП. Технологическая специфика измерений позволяет выделить ряд методов, основанных на указанном принципе. Некоторые из них рассматриваются ниже.

МЕТОД МИКРОНИВЕЛИРОВОК

Метод микронивелировок был разработан О. Ф. Поляковым для изучения почвенной эрозии на лесосеках Карпат. Сущность его заключается в повторных измерениях микрорельефа поверхности склонов на закрепленных створах специальной мерной линейкой. Начиная с 1964 г. в Ялтинской комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической партии ПГО «Крымгеология» В. И. Суловским были организованы широкие режимные наблюдения за скоростью денудации с помощью метода микронивелировок на стационаре «Ворон» в юго-восточной части Крыма [18]. Предлагаемое ниже описание метода микронивелировок опирается в основном на опыт указанных работ. С помощью этого метода рекомендуется измерять пологие и крутые (но не обрывистые) склоны, на которых денудация происходит в виде плоскостного смыва и мелкоструйчатой эрозии.

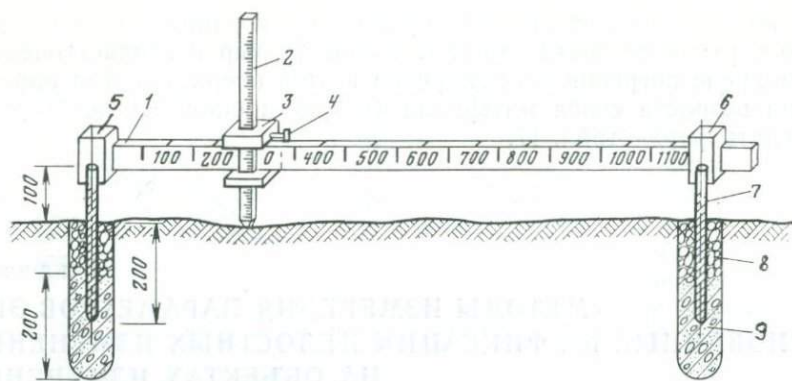


Рис. 17. Линейка для микронивелирования [26].

1 — плоская жесткая линейка со шкалой через 50 мм; 2 — четырехгранная линейка — мерный штырь; 3 — бегунок; 4 — стопорный винт; 5 — неподвижный край с углублением внизу; 6 — подвижный край с углублением внизу; 7 — металлический штырь; 8 — бетонированная засыпка из породы; 9 — бетон

В качестве измерительного устройства применяется мерная линейка О. Ф. Полякова (рис. 17). Основу ее составляет жесткая плоская линейка длиной 1,2 м с разметкой через 50 мм. С одной стороны на линейке смонтирован подвижный край. В нижней части неподвижного и подвижного краев сделаны отверстия для штырей, на которые надевается линейка при измерениях. На линейке находится бегунок с мерным штырем со шкалой (в мм), передвигающийся по вертикали.

Полевые работы. Элементарным объектом измерения в методе микронивелировок является профиль длиной 1,2 м, ориентированный параллельно склону и закрепленный по краям металлическими штырями (реперами) диаметром 0,7—1,0 см. Подземная часть реперов закрепляется в бетонированном основании (см. рис. 17). Для упрощения последующих расчетов углубления репера ориентируются перпендикулярно к поверхности склона. Тогда полученные данные будут характеризовать отступление поверхности склона параллельно самой себе, что и требуется для оценки скорости денудации в системе единиц отступления поверхности, изложенной в гл. 2. Если репера смонтированы вертикально, то результаты измерений необходимо каждый раз умножать на $\cos \alpha$, где α — крутизна склона, как это делалось Ф. С. Рамзаевым.

Микронивелировочная площадка обычно состоит из трех элементарных профилей (рис. 18), расположенных друг за другом по линии стока. Рядом с площадкой укрепляется табличка с ее индексом и номером, например М-2. При оборудовании створов и повторных измерениях необходимо стремиться сохранить естественные условия на склоне. Ходить следует только вне наблюдаемой площадки. Опыт показывает, что при частых повторных измерениях в результате воздействия наблюдателя ниже площадки образуется уступ к нише, что сопровождается увеличением скорости



Рис. 18. Микронивелировочная площадка для измерения скорости денудации на крутых склонах. Юго-восточная часть Крыма, стационар «Ворон» (ПГО «Крымгеология»).

1 — металлические штыри в бетонированном основании, на которые параллельно склону при срочных измерениях надевается мерная линейка; 2 — бетонные основания

эрозии. В паспорт площадки кроме обычных сведений вносится фотография поверхности склона с масштабной накладной сеткой.

Техника измерений данным методом включает комплекс операций по получению микропрофилей на закрепленных створах с помощью мерной линейки. Для этого неподвижный край линейки надевают на левый репер (при взгляде снизу), а подвижный край — на правый. Бегунок устанавливают у значения 0 и после измерения перемещается вправо через каждые 50 мм. В каждом из этих положений он закрепляется стопорным винтом. Мерный штырь медленно опускается на склон. При этом нагрузка на склон соответствует только массе мерного штыря, по шкале которого берется отсчет с точностью до 1 мм.

Камеральные работы. Обработка результатов измерений ведется по вспомогательной табл. 18 к паспорту объекта, в которую записываются результаты измерений. По всем измерениям подсчитывается сумма значений в миллиметрах. Разность этих сумм для каждого двух измерений Δ может иметь положительный знак, что означает смыв, и отрицательный знак, т. е. аккумуляцию на данном профиле за измеряемый период. Отношение суммы разностей по каждому из профилей ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$) к числу отсчетов, составляющему 66 по трем профилям, даст величину смыва или аккумуляции за время измерения на данной площадке: $L = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3) / 66$.

По величине отступления поверхности площадки L и с учетом времени измерения по уравнению (2) вычисляется эксперименталь-

Форма вспомогательной таблицы к паспорту метода микронивелировок

Дата измерения	Отсчеты мерного штыря по профилю № 1	Сумма отсчетов, мм	Разность отсчетов двух измерений Δ_1 , мм	Отступление поверхности $L_1 = \Delta_1/22$, мм
31.I.1968	19 76 91 13 86 17 11 34 39 41 70 37 33 29 26 22 65 42 39 39 39 27	856	+62	+2,8
22.III.1968	21 76 98 17 89 18 11 35 43 42 75 40 36 29 27 26 67 49 42 46 42 48	1020		

ная линейная скорость денудации, а через нее и остальные виды скоростей (см. гл. 2). Эти операции проводятся в паспорте объекта (см., например, табл. 3).

Следует отметить, что за достаточно долгий период наблюдений бетонные основания, в которых закреплены металлические репера, обнажаются от уровня первоначальной поверхности склона (см. рис. 18) на величину, которая может служить мерой контроля в сравнении с суммой периодических измерений скорости денудации за время после оборудования объекта. Такой контроль является одним из проявлений принципа дублирования.

Опыт применения метода микронивелировок показал недостаточно высокую точность взятия отсчетов мерным штырем (1 мм) и необходимость разработки мерных линеек с электронной регистрацией уровней поверхности склона на закрепленных профилях [18].

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Объектами исследования при расчете скорости ЭГП этими методами являются формы рельефа и коррелятные отложения различного генезиса. С их помощью реставрируется или реконструируется бывший рельеф, устанавливаются его местонахождение, морфология, строение и особенности эволюции за геологическое время, измеряемое тысячами и миллионами лет. Возраст коррелятных отложений и поверхностей, используемых для датировки ЭГП, определяется комплексом методов относительной и абсолютной хронологии. Весьма часто абсолютное время действия экзогенных процессов устанавливается примерно — по относительному геологическому возрасту с помощью общих или региональных стратиграфических схем, что наряду с другими допущениями снижает точность измерения скорости процессов.

В рассматриваемой группе можно выделить много конкретных методов измерений, основанных на восстановлении бывшего релье-

фа и геологического разреза с помощью вещественного, гранулометрического, фациального анализов, мощности и объема коррелятивных отложений, генезиса склонов и т. д. Известны многочисленные примеры реконструкции первичного рельефа сбросовых и эрозионных уступов, отступивших под действием ЭГП. Подробная сводка таких методов приведена, например, в работе А. С. Девдариани [3].

Во время полевого этапа основное внимание уделяется выбору объекта исследований, детальному геологическому и геоморфологическому картированию этого объекта, тщательному изучению разрезов коррелятивных отложений и их стратиграфии, составлению геолого-геоморфологических профилей, отбору проб и образцов для последующего анализа. В ряде случаев требуются буровые работы, горные выработки, применение геофизических методов исследования. Ниже приводится пример реализаций одной из указанной группы методов.

Измерение скорости денудации по реконструкции геологического разреза и рельефа по вещественному составу коррелятивных отложений. Строение и примерное местоположение бывшего рельефа устаналивают по вещественному составу коррелятивных отложений. Расстояние, измеренное на профиле или по карте между реконструированным и видимым рельефом в пределах определенного литолого-стратиграфического комплекса, позволяет рассчитать линейную скорость денудации за время, прошедшее после образования коррелятивных отложений. Сказанное поясняет пример реконструкции местоположения уступа палеогеновой куэсты в раннюю эпоху рельефообразования в районе долины прорыва р. Бельбек через Внутреннюю гряду Крымских гор.

Последняя состоит из двух куэст — Верхнемеловой и Палеогеновой. Они бронированы соответственно мшанковыми известняками датского яруса верхнего мела и нуммулитовыми известняками симферопольского яруса среднего эоцена, которые полого наклонены к северо-западу. Гребни куэст находятся друг от друга в направлении простираания долины на расстоянии 2,5—3 км.

У гребня верхнемеловой куэсты к северу от с. Большое Садовое на абсолютной высоте 430 м и на 325 м выше русла реки В. П. Душевский обнаружил древнюю речную террасу. Ее гравийно-галечниковый аллювий заполняет эрозионный врез, выработанный в мшанковых известняках. В вещественном составе аллювия наряду с обломками меловых и более древних пород имеют место грубоокатанные гальки нуммулитового известняка симферопольского яруса среднего эоцена, что свидетельствует о близости рельефа палеогеновой куэсты, построенной этими породами. В аллювии более низких речных террас нуммулитовые известняки отсутствуют. Указанные факты позволяют утверждать, что уступ палеогеновой куэсты переместился в направлении падения слоев не менее чем на 2,5 км с момента образования высокой террасы. Это

происходило под действием обвально-осыпных, эрозионных и карстовых процессов.

Древняя терраса расположена значительно выше четвертичных террас речных долин и несомненно образовалась в неогене. Ее можно коррелировать с позднеплиоценовыми аллювиальными конусами выноса северного склона Внешней гряды Крымских гор и отнести к куяльницкому веку. Абсолютный возраст куяльника установлен в интервале 3,3—1,8 млн. лет. Если принять средний возраст террасы 2,5 млн. лет, то средняя линейная скорость отступления уступа палеогеновой куэсты составит около 1 мм/год. Найденная скорость несомненно завышена, так как в разрушении куэсты на указанном отрезке принимали участие кроме склоновых процессов субсеквентные притоки р. Бельбек.

ИСТОРИКО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Применение этих методов иногда позволяет получить сведения о скорости и частоте проявлений ЭГП за историческое и археологическое время, т. е. за интервал времени до 1—2 млн. лет.

В летописях, архивных документах, дневниках и в других рукописных источниках встречаются сведения о катастрофических наводнениях, селях, снежных лавинах, обвалах и т. д. В них могут быть указаны даты и некоторые параметры процессов, что наряду со сведениями, полученными другими методами, позволяет использовать их для расчетов скорости и частоты ЭГП.

Большими возможностями для решения конкретных задач оценки скорости ЭГП за длительное время обладает археологический метод. Объектами изучения являются рельеф и коррелятные отложения, вмещающие археологический материал, а также формы рельефа и сооружения, созданные древним человеком. Массовость археологического материала и увеличение точности датировок событий по мере приближения к современности дают возможность археологическому методу успешно конкурировать с другими методами исследования [13].

Наибольший интерес для решения различных задач, связанных с эволюцией и динамикой рельефа, представляют археологические стоянки. Культурные слои стоянок, находящиеся *in situ*, служат исходными точками для отсчета времени и скорости денудации или аккумуляции. Производить раскопки известных или новых археологических памятников имеют право только опытные археологи, но в этих исследованиях весьма полезно и желательно участие геологов и геоморфологов. Работа археологов отличается тщательностью изучения стратиграфии отложений, вмещающих культурные слои. Эти материалы и особенно разрезы стоянок, профили и планы позволяют в ряде случаев сделать расчет скорости ЭГП без проведения специальных исследований.

Определение скорости ЭГП с помощью археологического метода осуществляется в процессе нескольких последовательных операций: 1) детального картирования геологического строения и

рельефа участка археологического памятника, составления геолого-геоморфологических профилей; 2) изучения генезиса, структуры, текстуры, состава, стратиграфии коррелятных отложений и датирования слоев с помощью археологического, радиоуглеродного, биостратиграфического и других методов; 3) восстановления бывшего рельефа по его сохранившимся фрагментам или по косвенным признакам; 4) измерения величины денудации или аккумуляции на профилях или разрезах и расчета скорости ЭГП.

Рассмотрим применение археологического метода для оценки скорости ЭГП на двух конкретных примерах.

1. Стоянки древнего человека часто связаны с навесами, гrotтами и пещерами различного генезиса. Их козырьки со временем разрушаются склоновыми процессами, а культурные слои и днища полостей оказываются погребенными под коррелятными отложениями. По внешнему краю пола или по строению коллювия можно восстановить размеры полости и местоположения края козырька, что дает возможность оценить скорость денудации склона с начальных этапов заселения полости древним человеком [14]. Рассмотрим решение этой задачи на примере стоянки Староселье.

Стоянка находится в низовьях оврага Канлы-дере у г. Бахчисарая в Крыму. Овраг у места стоянки имеет вид каньона глубиной и шириной около 40 м, ограниченного обрывами высотой 25—30 м (рис. 19). Каньон выработан в мшанковых известняках датского яруса и вскрывает известковистые песчаники маастрихтского яруса верхнего мела.

Археологическая стоянка раскопана и изучена А. А. Формозовым, который датировал ее самым концом мустьерской эпохи. Древний человек жил в гроте, козырек которого обвалился. Грот был выработан денудацией в основании обрыва мшанковых известняков в 10—11 м выше современного русла оврага. В рельефе обрыва сохранились его тыльная часть длиной и высотой 2 м и погребенный под отложениями пол, по которым реставрирована морфология полости и ее козырька (см. рис. 19).

Обвал произошел в результате отчленения блока известняков по трещине бортового отпора в середине времени обитания человека на стоянке, что доказывается наличием археологического материала ниже и выше горизонта глыб. В меньшей степени в денудации участвовали осыпной процесс, карст и эрозия водными струями, стекающими по обрыву во время ливней и снеготаяния. Эти процессы моделировали стенку обвальной ниши.

С позднего мустье обрыв над стоянкой отступил под действием указанных процессов от линии DC до линии BC (см. рис. 19). Средняя линейная величина денудации составила на расчетном профиле 7 м.

Датировка мустьерских памятников Крыма осложнена незначительным числом радиоуглеродных определений возраста и явной заниженностью значений, полученных Е. А. Векиловой. Только две даты — 33 и 41 тыс. лет, — установленные для стоянки Староселье, отвечают финальному мустье, которое завершилось 35 тыс.

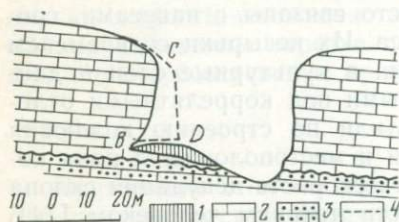


Рис. 19. Геологический профиль через овраг Канлы-дере у мусьерской стоянки Староселье.

1 — верхнечетвертичные коллювиальные суглинки с древесной, щебнем и глыбами, вмещающие археологический материал позднего мусье; 2 — известняки мшанковые датского яруса верхнего мела; 3 — известковистые песчаники маастрихтского яруса верхнего мела; 4 — реставрированный рельеф склона (BDC) над стоянкой Староселье

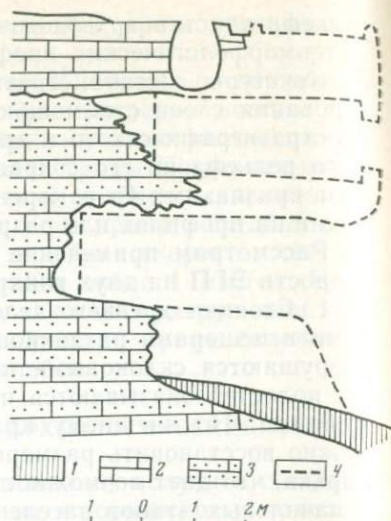


Рис. 20. Геологический профиль уступа верхнемеловой куэсты у средневекового пещерного г. Бакла.

1 — современные коллювиальные щебнисто-глыбовые отложения с суглинистым заполнителем; 2 — известняки мшанковые датского яруса верхнего мела; 3 — известковистые песчаники маастрихтского яруса верхнего мела; 4 — реставрированный рельеф склона с криптами и зерновыми ямами пещерного г. Бакла

лет назад. Принимая время, прошедшее с момента заселения грота, в 41 тыс. лет, определяем среднюю линейную скорость денудации в 0,17 мм/год в системе единиц отступления поверхности. Остальные виды скоростей вычисляются по известным уравнениям (см. гл. 2), а результат измерений заносится в паспорт.

2. Другой пример касается измерения скорости ЭГП по разрушению или погребению искусственных сооружений. Если денудация частично разрушила искусственные сооружения известных размеров и возраста, то можно восстановить их первоначальную морфологию и определить минимальную, а в ряде случаев и среднюю величину абразии, эрозии, осыпного и обвального сноса, плоскостного смыва и других ЭГП.

При погребении сооружений удастся определить мощность и объем продуктов аккумуляции, что позволяет использовать эти данные для расчетов скорости аккумуляции и денудации. Например, возможность для решения этой задачи дают средневековые пещерные города Крыма [14], где на склонах и в обрывах известняка человеком высечены искусственные пещеры (крипты), зерновые ямы, давяльни винограда (тарапаны) и другие полости определенной морфологии.

В качестве примера реставрации рельефа с такими сооружениями приводится участок обрыва верхнемеловой куэсты у пещерного г. Бакла, изображенный на профиле (рис. 20). Уступ высотой 7,5 м здесь сложен мшанковыми известняками (1,5 м) датского яруса и известковистыми песчаниками (6,0 м) маастрихтского яруса верхнего мела. В уступе срезаны денудацией крипты двух ярусов, зерновые ямы грушевидной формы и тарапаны. Стены и потолки сохранившихся фрагментов крипт, выработанных в известковистых песчаниках, сильно переработаны денудацией и превращены в сотовые поверхности (тафони). Первоначальные границы тыльных частей крипт хорошо восстанавливаются по рельефу пола.

Сохранившиеся крипты прямоугольны в плане, продольном и поперечном сечениях и снабжены окнами, открытыми к обрыву. Их высота около двух, а длина 4—5 м. Исходя из этих параметров, был восстановлен первоначальный профиль уступа с искусственными сооружениями.

Основная величина денудации этой части уступа связана с обвалами и камнепадами. Крипты срезаны обвальной нишей, а ниже по склону лежат блоки известняков и песчаников со следами искусственных сооружений на их стенках. В меньшей степени уступ моделирован сложным и плохо изученным комплексом денудационных процессов (осыпание, дефляция, выщелачивание и др.), в результате которых образуются тафони. По расчетному профилю (см. рис. 20) определяется средняя величина денудации (3,7 м).

Искусственные сооружения пещерного г. Бакла создавались с III по XIV в. Определить возраст каждого из них в более узком диапазоне времени сложно, а иногда и невозможно. Поэтому для расчета принят средний возраст крипт 1200 лет. Средняя денудация обрыва за это время составила 2,8 мм/год. Средняя скорость денудации стен и потолка сохранившихся фрагментов сооружений без участия камнепадов и обвалов составила в мшанковых известняках 0,003 мм/год, а в податливых к выветриванию известковистых песчаниках — 0,4 мм/год.

Глава 8

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭГП

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дендрохронологические методы являются частью общей системы фитоиндикационных методов измерения параметров ЭГП, в которую, по В. И. Турманиной [31], входят также фитоценотический и лихенометрический. С помощью фитоиндикационных методов ве-

дется датировка и оцениваются некоторые параметры многих геологических процессов, проявившихся в прошлом, от одного-трех тысячелетий назад до настоящего времени. Особенно важно их применение в тех районах, где наблюдения за ЭГП не проводились и сведения о параметрах процессов отсутствуют. Фитоиндикационные методы сравнительно просты, не требуют больших затрат времени и материальных средств и обеспечивают достаточно высокую точность полученных результатов.

Растительность является наиболее динамичным элементом ландшафта, индикатором и одним из факторов развития ЭГП. В анатомо-морфологическом строении растений длительное время накапливается и сохраняется информация о действии различных геологических процессов. Последние в области денудации понижают земную поверхность, обнажают и деформируют корневые системы растений, а в области аккумуляции повышают земную поверхность, что сопровождается погребением надземных частей растений. Воздействие многих процессов на деревья вызывает их наклон, механические повреждения древесины, а иногда и массовую гибель. Эти морфологические признаки находят отражение в анатомическом строении растений и совместно используются для оценки времени, частоты и скорости экзогенных геологических процессов.

Дендрохронологические методы являются главными и наиболее точными в системе фитоиндикационных методов измерения параметров ЭГП. В их основе лежит датировка объектов и событий по годичным кольцам древесины. Основными объектами исследования являются деревья и кустарники.

Возможности использования дендрохронологических методов для датировки объектов и событий вытекают из следующих положений [1, 20, 31, 33].

1. Древесина стволов, ветвей и корней деревьев, кустарников и других растений состоит из годичных колец, толщина которых уменьшается от центра к периферии. По их числу можно определить возраст растения или его отдельных морфологических элементов в любой точке.

2. Годичные кольца древесины формируются в течение вегетационного периода в процессе жизнедеятельности клеток камбияльного кольца. Каждое годичное кольцо состоит из ранней (внутренней) и поздней (внешней) древесины. Поздняя древесина обычно плотнее и темнее, что позволяет визуально распознавать границу между соседними годичными кольцами.

3. В структуре древесины могут отсутствовать отдельные кольца и могут быть ложные кольца. «Выпадение» колец происходит в годы с особенно неблагоприятными экологическими условиями в течение всего вегетационного периода и наблюдается очень редко. Их можно учесть с помощью метода перекрестного датирования, рассмотренного ниже. Ложные кольца связаны с кратковременным перерывом в развитии растений, вызванным неблагоприятными

ятными климатическими условиями внутри вегетационного периода. Они легко опознаются по прерывистости, отсутствию поздней древесины и исключаются из подсчета возраста. Точный возраст растения определяется по подсчету годовичных колец с добавлением выпадающих и исключением ложных колец.

4. Ширина годовичных колец и прирост растений по диаметру непостоянны во времени и зависят от физиологических особенностей деятельности камбия и экологических условий. В первые годы жизни дерева ширина колец больше, а после достижения определенного возраста прирост постепенно уменьшается и достигает минимума в старом возрасте. Этот общий фон осложняет влияние условий внешней среды во время вегетационного периода (температуры, влажности, солнечной радиации). В годы с благоприятными условиями образуются более широкие годовичные кольца древесины, а в годы угнетения и повреждения деревьев в результате действия ЭГП — узкие годовичные кольца, по которым можно датировать процесс.

5. В стволах нормально растущих деревьев годовичные кольца древесины нарастают в общем симметрично (концентрически), при наклоне, изгибе или завале ствола, вызванного, например, воздействием ЭГП, в нем образуются эксцентричные кольца (эпиксиллия годовичных колец). Древесина эксцентричных колец дифференцируется по линии наклона на креновую (обращенную к земной поверхности) и тяговую. У лиственных пород деревьев большую ширину имеют кольца тяговой, а у хвойных — креновой древесины. Отложение креновой и тяговой древесины при наклоне ствола есть следствие реакции камбияльного кольца на сжатие и растяжение, в результате чего образуется древесина с разными прочностными свойствами, позволяющая дереву сохранить рост в условиях нарушения центра тяжести. Чем больше угол наклона ствола, тем больше выражена эпиксиллия годовичных колец. После прекращения действия сил, вызвавших наклон, ствол дерева под влиянием геотропии постепенно выравнивается. В эти годы постепенно уменьшается асимметричность в отложении годовичных колец древесины. Асимметричные кольца сохраняются в структуре древесины, и начало их отложения отвечает дате проявления ЭГП, вызвавшего наклон дерева.

6. У нормально растущего дерева наибольшим диаметральным ростом отличается основание ствола. В этом случае растение усиливает несущие свойства основания — экологического основания, по Д. А. Алестало [33], испытывающего воздействие статической и динамической нагрузок. В результате снижения или повышения земной поверхности, вызванного действием ЭГП, экологическое основание дерева и уровень максимального диаметрального роста перемещаются соответственно вниз, к корням, или вверх по стволу — к новому уровню земной поверхности. По месту образования аномально широких годовичных колец и их возрасту можно определить положение уровня земной поверхности в различные годы жизни дерева.

7. В результате сильного механического воздействия на ствол, ветви или корни дерева, например ударами камней при проявлении ЭГП, образуется рана (сбитость) и повреждается камбиальное кольцо. В месте повреждения прекращается рост древесины очередного годичного кольца. Со временем целостность камбиального кольца восстанавливается. Это достигается более интенсивным ростом древесины годичных колец у краев раны в виде раневых валиков, которые постепенно затягивают повреждение. След повреждения и ход его застания сохраняются в структуре годичных колец древесины. По годичным кольцам, появившимся после повреждения, можно установить дату действия ЭГП.

Возраст растений и хронология событий, запечатленных в особенностях их роста, устанавливаются по годичным кольцам на спилах или на керне, отобранном с помощью возрастного бура (бура Преслера), применяемого в практике лесоводства [1]. Методика работы состоит из четырех последовательных операций: 1) выбора модельных растений и заполнения паспорта; 2) отбора и документации образцов древесины; 3) подготовки образцов к анализу; 4) определения возраста растений и дат проявления ЭГП.

Число модельных деревьев и признаки, по которым они выбираются, во многом определяются целью исследования. Так, например, для оценки скорости денудации однородного склона достаточно одного или двух модельных деревьев, наиболее удовлетворяющих требованиям методики исследования и находящихся в типичных условиях развития процесса, а для определения частоты прохождения селей необходимо несколько деревьев, обладающих морфологическими признаками воздействия потоков и расположенных в зоне их проявления, желательно на поперечных профилях в разных частях селевого бассейна. Выбор нескольких деревьев в последнем случае диктуется необходимостью получения максимального числа дат проявления ЭГП, которые обычно не фиксируются в строении одного дерева. Модельными могут быть живые и погибшие деревья. Дата гибели последних устанавливается с помощью метода перекрестного датирования. Чем старше дерево, тем больше оно может содержать информации о хронологии ЭГП.

Место, способ отбора и число образцов древесины устанавливаются с учетом цели исследования и особенностей роста модельного дерева. Для определения возраста дерева образцы могут быть отобраны из нижней части ствола или вблизи основания наиболее старых корней, для определения возраста ветвей или побегов — у их основания, для определения возраста какого-либо отрезка корня, ствола или ветви — в пределах этого отрезка, для датирования сбитостей — в месте раневых валиков или шрамов, а если они не сохранились в морфологии ствола, то в нескольких местах нижней части ствола дерева до высоты 1,5—2,0 м.

Образцы древесины отбираются для последующего анализа в виде спилов или керна. Спилов делаются пилой или бензопилой поперек ствола корня или ветви дерева. Их толщина не ограничивается, но в целях удобства транспортировки обычно не превы-

шает 5 см. Датировка сбитостей и наклонов дерева практически осуществляется только на спилах. Для оценки возраста и диаметрального прироста деревьев используется керн древесины, отобранный возрастным буровом. Образцы обычно отбираются на высоте 1,2—1,5 м по направлению, перпендикулярному к оси ствола дерева. При этом способе отбора не всегда удастся с первой попытки попасть в анатомическую ось ствола и отобрать древесины по его истинному радиусу.

Спилы или керн предварительно изучаются в полевых условиях под лупой. Из нескольких образцов, отобранных из одного модельного дерева, оставляют для последующего лабораторного анализа один или два наиболее представительных, которые документируются. На одной стороне спила, менее пригодной для анализа, подписывают номер образца и дату отбора. При необходимости стрелками указывают направление на север и направление действия ЭГП. Керн древесины тщательно упаковывается в специальные пеналы вместе с этикеткой.

Подготовка образцов к анализу производится во время камерального этапа и ее содержание зависит от различимости годичных колец. Образцы древесины с хорошей различимостью колец не требуют специальной обработки. Если годичные кольца просматриваются не четко, то поверхность спила шлифуется и полируется или же делается зачистка острым ножом полосы вдоль линий измерения. В случае плохой различимости годичных колец поверхность древесины подвергается обработке химическими реактивами (иодом с солями, бензидином и бихроматом калия и др.), по-разному окрашивающими раннюю и позднюю древесины (А. Г. Измоленов и Ю. Л. Кузенко). Для улучшения различимости годичных колец на керне древесины его поверхность смачивается водой или аккуратно зачищается скальпелем.

Возраст образцов древесины и даты колец, несущих информацию о ЭГП, определяются визуально, с помощью лупы или стереоскопического микроскопа в зависимости от различимости годичных колец.

Число колец подсчитывается не менее чем по двум радиусам. Определение их возраста начинают с последнего (внешнего) кольца, год отложения которого известен и соответствует дате отбора образца. Для удобства подсчета даты некоторых колец подписывают карандашом или эти кольца фиксируют на линиях измерений наколом иглы. В процессе работы выявляются и исключаются из подсчета ложные кольца.

Если требуется установить дату гибели дерева или учесть «выпавшие» годичные кольца древесины, то прибегают к методу перекрестного датирования. С этой целью строятся и сравниваются дендрограммы ширины годичных колец древесины погибшего растения и старых живых деревьев известного возраста, произрастающих на данной территории. Так как диаметральный прирост древесины зависит от условий внешней среды, то изменчивость ширины годичных колец, образовавшихся в одно и то же время в по-

гибшем и живом деревьях, должна подчиняться общей закономерности. Обычно корреляция дендрограмм производится по минимумам прироста годовичных колец. Если для исследуемой территории уже имеется дендрошкала, на которой отображена изменчивость ширины годовичных колец древесины за длительное время, то дендрограмма модельного дерева сравнивается с этой шкалой. Установив дату гибели дерева, при необходимости можно высчитать и дату его появления.

Возраст некоторых молодых хвойных деревьев можно определить по числу мутовок и их следов на стволе без отбора образцов древесины.

При тщательных исследованиях время проявления ЭГП определяется с помощью дендрохронологического метода с точностью до 1 года.

При составлении паспорта на объекты измерения дендрохронологическими методами в нем кроме обычных данных фиксируются все специфические особенности отдельных операций: характеристики модельного растения, характер аномалий в его анатомо-морфологическом строении, на которых основано измерение параметров ЭГП, способ определения возраста растения или отдельных аномалий в его строении, номера образцов древесины, способ и место их отбора. При необходимости паспорт дополняется той или иной формой вспомогательных материалов (таблиц и т. д.). Следует также обеспечить хранение образцов древесины, например спилов, или фотографирование их для последующего приложения к паспорту.

МЕТОД ПО ОБНАЖЕННЫМ КОРНЯМ

Метод предложен А. Сейболдом, разработан Ф. С. Рамзаевым и применяется для оценки скорости денудации, осуществляемой осыпным сносом, плоскостной и линейной эрозией, абразией, дефляцией или их совместным действием. Аспекты методики и результаты исследований, проведенных в различных районах, опубликованы во многих работах [6, 33, 36 и др.]. Метод позволяет оценить скорость денудации на различных элементах рельефа за время от нескольких лет до нескольких тысячелетий.

Если поверхность склона за время жизни дерева сохраняется неизменной, то она фиксируется корневой шейкой — границей между корнем и стволом. Основание ствола (комель) несколько расширено вследствие отложения здесь наиболее широких годовичных колец древесины. Этим способом дерево усиливает несущие свойства экологического основания, испытывающего воздействие статической и динамической нагрузок.

При денудации происходит обнажение корней растения и корневая шейка располагается выше поверхности склона (рис. 21). Если денудация проявляется медленно, то дерево сохраняет ортотропную форму роста и приспосабливается к новым условиям посредством углубления, разрастания корней и отложения в них у



Рис. 21. Дуб с обнаженной корневой системой на склоне с активным развитием плоскостного смыва. Юго-восточная часть Крыма, хр. Эчкидаг

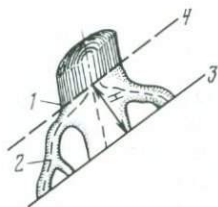


Рис. 22. Определение скорости денудации склона по обнаженным корням дерева.

1 — корневая шейка; 2 — морфологическая ось корня; 3 — современная поверхность склона; 4 — поверхность склона в момент зарождения дерева

уровня новой поверхности наиболее широких годовичных колец древесины [33]. Если денудация происходит с большой скоростью, то растение не успевает приспособиться к новым условиям и падает на склон, приобретая плагиотропную форму роста.

Наиболее подходят для измерения скорости денудации деревья и кустарники с обнаженными корнями и ортотропной формой роста (рис. 22). Так как уровень поверхности, существовавшей на момент появления растения, фиксируется корневой шейкой, то расстояние H между ней и поверхностью на момент наблюдения, измеренное по нормали, соответствует величине денудации за время жизни растения t . Эти данные позволяют определить экспериментальную среднегодовую линейную скорость денудации V_l в данной точке по уравнению $V_l = H/t$. Второй способ измерений через длину обнаженной части вертикального корня и $\cos \alpha$, рекомендуемый Ф. С. Рамзаевым, больше подходит для расчета скорости денудации склонов по растениям со стержневым корнем и плагиотропной формой роста.

Наиболее сложной задачей, особенно влияющей на точность измерений, является строгое определение местоположения корневой шейки. У молодых деревьев и кустарников она фиксируется

сравнительно хорошо. У старых деревьев с толстыми корнями ее место может быть определено с некоторой ошибкой по пересечению в комле морфологических осей старых корней (см. рис. 22). Точное местоположение корневой шейки устанавливается по пересечению анатомических осей верхних боковых корней [36]. Дело в том, что в боковых корнях откладываются эксцентричные годовые кольца и морфологическая ось не совпадает с анатомической. Так, например, у обнаженных старых боковых корней сосны вследствие большего прироста древесины в верхнем радиусе анатомическая ось корня располагается ниже морфологической. Местоположение анатомических осей корней может быть установлено на серии поперечных спилов.

В практике место корневой шейки обычно устанавливается с помощью морфологических осей корней. Этот прием не требует дополнительного усложнения работ, но не исключает ошибку в определении скорости денудации до 10 %.

Измерение величины денудации H производится мерной лентой или линейкой с точностью до 1 мм. Возраст растения t определяется по годовым кольцам на образцах древесины, отобранных в нижней части ствола или вблизи основания старого корня. По соотношению этих величин получают экспериментальную линейную скорость денудации в системе единиц отступления поверхности и другие виды скоростей (см. гл. 2).

Для оценки скорости денудации можно использовать погибшие деревья с отпрепарированными корнями, сохранившиеся на месте своего произрастания. Дата их гибели устанавливается с помощью метода перекрестного датирования, а время денудации t определяется по формуле $t = t_1 + t_2$, где t_1 — возраст погибшего дерева; t_2 — интервал от даты его гибели до даты измерения.

Опыт исследования скорости денудации за последние 3100 лет по живым и погибшим остистым соснам, произрастающим в субальпийском поясе гор в штатах Калифорния и Юта, опубликован в работах В. С. Ла Марча [35], А. Д. Эрдли и В. Виванта.

МЕТОД ПО ПОГРЕБЕННЫМ СТВОЛАМ

Погребение стволов деревьев в аллювиальных, пролювиальных, делювиальных, осыпных, селевых, эоловых, вулканогенных и органических отложениях служит индикатором повышения земной поверхности, вызванного аккумуляцией. В этом случае общая величина аккумуляции соответствует мощности слоя, заключенного между погребенной корневой шейкой дерева и дневной поверхностью.

При условно-непрерывном режиме аккумуляции (делювиальной, осыпной и др.) и малой ее скорости практически невозможно стратифицировать аккумулятивную толщу и оценить изменение скорости аккумуляции во времени. Мощность осадков H , лежащих выше корневой шейки дерева, используется для определения средней скорости аккумуляции. Если аккумуляция происходила в те-

чение всего времени существования живущего t или погибшего ($t=t_1+t_2$) дерева, то экспериментальная линейная скорость аккумуляции V_l рассчитывается по формуле $V_l=H/t$. Если аккумуляция началась позже появления дерева, то ее продолжительность t^1 определяется по числу годичных колец древесины в стволе после аномально-узкого годичного кольца, свидетельствующего об угнетении роста. Тогда $V_l=H/t^1$.

При прерывистом режиме ЭГП (паводках, селях, пыльных бурях и т. д.) время аккумуляции ничтожно мало и намного меньше длительности перерыва между проявлением процессов, а мощность отложений измеряется сантиметрами и метрами. В этом случае большой интерес обычно представляют не средняя скорость аккумуляции, а конкретные проявления ЭГП, мощность осадков, связанных с ними, и частота проявления процессов. Для решения этих задач требуется расчленить отложения на слои, относящиеся к каждому событию. Стратиграфия осадков устанавливается в шурфе, пройденном вблизи погребенной части ствола дерева. Границы слоев выделяются по составу отложений, по погребенным почвам или следам подстилки, а при отсутствии этих признаков — по вертикальной яркости придаточных корней.

При аккумуляции ухудшаются экологические условия жизни дерева. Его корневая система оказывается в менее благоприятных условиях аэрации и гидротермического режима, а экологическое основание перемещается от корневой шейки вверх — к уровню новой поверхности. Если дерево быстро не приспособится к изменившимся условиям, то оно погибнет. В борьбе за существование изменяется форма роста корней и ствола дерева. Этот вопрос изучен Д. А. Алестало [33] при исследовании динамики дюн, И. В. Ревяко при исследовании развития деревьев защитных лесополос, погребенных под наносами пыльных бурь. В год отложения наносов у погребенных деревьев задерживается и сокращается период вегетации, нарастают аномально узкие годичные кольца древесины. Последние являются критерием для определения даты начала каждого цикла аккумуляции.

В связи с перемещением уровня поверхности вверх дерево усиливает несущие свойства нового основания посредством аномального увеличения прироста годичных колец в стволе у уровня новой поверхности и резко уменьшает их прирост в погребенной части ствола. По местоположению аномально широких годичных колец, установленных на образцах древесины, отобранных вдоль погребенной части ствола, можно определить положение поверхности во время каждого цикла аккумуляции.

Так как уровень благоприятных экологических условий для жизни корней при аккумуляции перемещается вверх, то вблизи новой поверхности дерево очень быстро формирует дополнительную корневую систему из придаточных корней (рис. 23). Эти корни отрастают из спящих почек и стволового камбия погребенной части ствола или от основной корневой системы в год действия процесса или во время следующего вегетационного периода. Они

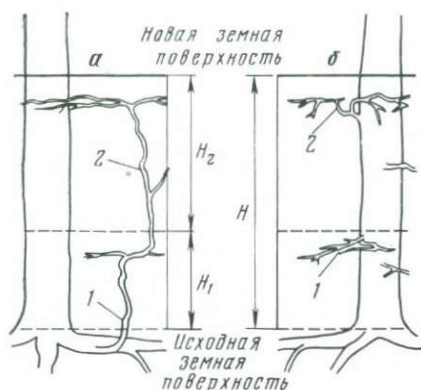


Рис. 23. Определение мощности отложений по погребенным стволам деревьев и стратиграфия разреза по придаточным корням, отросшим от старой корневой системы (а) и ствола дерева (б).

1 — вероятное место отбора образцов корневой древесины для определения возраста первого слоя; 2 — то же, для второго слоя

распространяются к новой поверхности вертикально вверх или под углом и на глубине 5—10 см от нее образуют разветвленную мочку. У придаточных корней с отрицательной формой роста возраст уменьшается в направлении снизу вверх.

Если мощность аккумулятивных отложений периодически увеличивается, например на рис. 23 — H_1 и H_2 соответственно мощности первого и второго слоев, то в каждом новом слое формируется новый ярус придаточных корней. По этому и другим признакам можно расчленить отложения и датировать каждый слой с точностью до 1 года по возрасту придаточных корней. Образцы древесины отбираются из основания наиболее старых придаточных корней, образованных в каждом слое.

Сведения о мощности и составе каждого слоя, методе их датирования, месте отбора образцов древесины и их возрасте наряду с общими характеристиками погребенного дерева вносятся в паспорт. По числу циклов аккумуляции за время жизни деревьев можно рассчитать частоту проявления некоторых ЭГП по уравнению (17).

МЕТОД ПО ДЕФОРМИРОВАННЫМ КОРНЯМ

За последние 100—200 лет дендрохронологический метод применялся Н. Н. Карповым, А. А. Лукашовым, Н. А. Подугольниковой, А. П. Лапердиным, Ю. Б. Тржцинским и др. для оценки скорости движения чехла обломочного материала на склонах в виде крипа и медленной солифлюкции. Эти движения направлены вниз по склону и охватывают толщу грунтов небольшой мощности. Вместе с движущимся слоем грунта перемещаются растения, за исключением тех отрезков старых корней, которые проникли ниже, в неподвижный слой, в достаточной степени разрослись и закрепились в нем. Если удастся установить пространственное соотношение перемещенной (корневая шейка растения) и неподвижной (место закоривания корня) частей растения в плоскости склона, то расстояние между ними в направлении движения характеризует величину этого движения.

У растений с главным стержневым корнем, растущих на неподвижном субстрате, указанные точки располагаются на одной вер-

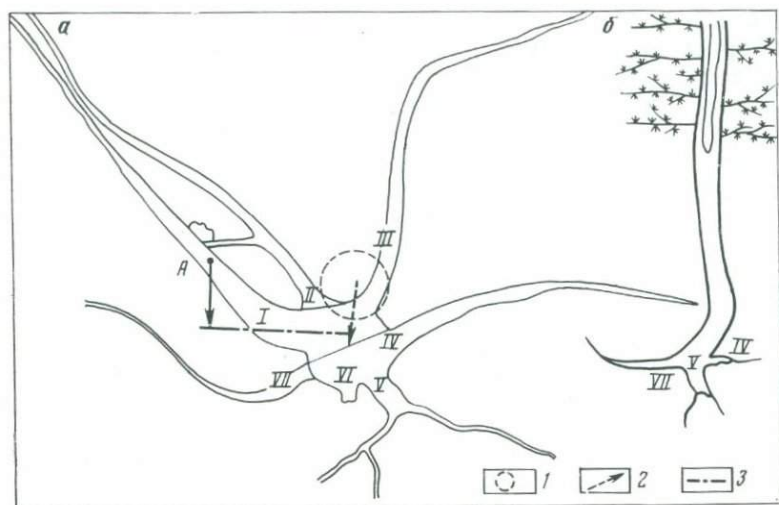


Рис. 24. Форма роста корней лиственницы даурской на солифлюкционно-курумовом склоне в Забайкалье в плане (а) и на разрезе (б). По А. А. Лукашеву, Н. А. Подугольниковой.

1 — предполагаемое положение комля до смещения; 2 — направление смещения комля; 3 — современная ось корня. Римскими цифрами обозначены номера корней

тикальной линии. На склонах с развитием процессов крипа или солифлюкции стержневые корни многих растений вытянуты вверх, в этом направлении они постепенно углубляются в грунт и закориваются в неподвижном слое. Корневая шейка растения оказывается перемещенной по отношению к точке закоривания корня на определенное расстояние по склону, которое измеряется линейкой или рулеткой при вскрытии корневой системы и характеризует минимальную величину перемещения поверхности L со времени закрепления корня в неподвижном субстрате t . Это время обычно несколько меньше возраста растения и может быть установлено на образцах древесины корня, отобранных вблизи точки закоривания. Тогда минимальная линейная скорость ЭГП по склону V_i определяется по формуле $V_i = L/t$.

Во многих районах, где имеют место медленные массовые смещения чехла обломочного материала, произрастают деревья с поверхностной корневой системой, состоящей из хорошо развитых боковых корней и короткого стержневого корня. При движении грунта стволы деревьев приобретают коленообразный изгиб, а боковые корни, ориентированные вниз по склону, изгибаются, ломаются и отмирают (рис. 24, корни V, VI). Основу корневой системы у таких деревьев составляют длинные боковые корни, распространяющиеся в нагорную часть склона (там же, корни I, II, III, IV). Наиболее старые из них, ориентированные перпендикулярно или под углом к линии движения и закоренные в неподвижном слое еще до начала смещения грунта (корень I), служат индикатором величины движения.

Для решения поставленной задачи необходимо отпрепарировать корневую систему модельного дерева, установить границы смещенного и неподвижного слоев, найти место заякоривания старого корня и убедиться, что его появление в точке заякоривания произошло раньше начала действия ЭГП. Последняя дата выявляется по началу отложения эксцентричных годичных колец в стволе дерева. Изгиб основания бокового корня I (см. рис. 24) относительно неподвижной точки А (точка заякоривания корня) произошел за время t_1 после начала действия ЭГП. Длина перпендикуляра, опущенного из точки А к современной оси корня I, характеризует величину сдвига L корневой шейки дерева в плоскости склона. Если процесс проявлялся неоднократно, то его средняя линейная скорость смещения по склону находится по формуле $V_I = L/t_1$.

МЕТОД ДЕНДРОЭКРАНОВ

Х. Мортинсон [37] предложил измерять скорость движения материала на склонах, исходя из положительных и отрицательных форм рельефа, формирующихся соответственно выше и ниже отдельных деревьев, растущих на склоне. Отметим, что строгая интерпретация этих эффектов относительно скорости движения материала затруднительна.

Е. А. Толстых [23] при исследовании движения курумов зафиксировал смещение материала по склону ниже куртин кедрового стланика без образования отрицательных элементов рельефа (см. рис. 5, а). Это позволяет отрезок пути, пройденного материалом по склону, использовать в качестве строгой меры для оценки величины ЭГП в системе единиц скорости смещения (см. гл. 2) и предложить соответствующий метод измерения скорости ЭГП, получивший название метода дендроэкранов.

В обоих случаях [23, 37] возможности измерений ЭГП вытекают из наличия на склонах фактора, который можно назвать экраном, а соответствующие эффекты в течение ЭГП — эффектами экранирования. Это позволяет выделить экранирование как содержательный принцип измерения. Роль экранов могут в разных условиях выполнять самые различные объекты, в частности это дает возможность классифицировать их на естественные и искусственные.

Ниже остановимся на технологической разработке конкретного метода дендроэкранов [23], предназначенного для измерения скорости движения курумов. Сущность его заключается в измерении длины обнаженной от грубых обломков поверхности склона L под куртинами кедрового стланика в качестве пути, пройденного чехлом грубых обломков за время экранирования, соответствующего возрасту куртины t . По соотношению измеренных величин среднегодовой линейной скорости определяется скорость смещения материала по склону ($V_I = L/t$).

Возможность таких измерений базируется на двух аксиоматичных положениях: 1) экранирование движения обломков на поверхности склона происходит с момента зарождения куртины; 2) движение обломков ниже экрана происходит с той же скоростью, что и на свободных участках склона. В обоснованности обеих аксиом можно выразить определенные сомнения. Так, действительно ли с момента зарождения дерева происходит задержка движения обломков? Кроме того, разрыв сплошного чехла обломков создает условия, когда движение материала происходит при оголенной верхней границе обломочного материала на склоне. Тем не менее ярко выраженный эффект смещения обломочного материала под куртинами кедрового стланика является объективной реальностью и его целесообразно использовать для измерения скорости ЭГП.

На крутых склонах, сложенных курумами, под чехлом грубых обломков, как правило, находится супесчаный или суглинистый мелкозем светло-коричневого или желтого цвета. Смещение обломочного чехла обычно серого цвета при отсутствии его замещения вышележащими обломками, что имеет место в случае экранирования кедровым стлаником, обнажает подстилающий мелкозем. Обнаженный участок конусообразной формы ярко выделяется по цвету на фоне склона (см. рис. 5, а). Длина этого участка представляет собой путь, проделанный обломочным материалом со времени экранирования (рис. 25).

В табл. 4 и на рис. 5 приведен пример измерения скорости смещения грубообломочного материала курумов на склоне методом



Рис. 25. Экранирование движения курума куртиной кедрового стланика. Северное Прибайкалье, стационар «Душкачан» (ВСЕГИНГЕО)

дендрозкранов, проведенного на стационаре «Душкачан» (Северное Прибайкалье). При ближайшем рассмотрении на обнаженном участке четко выделяются три элемента сверху вниз по склону (см. рис. 5, б): чистый мелкозем светло-коричневого цвета, мелкозем с примесью дресвы и мелкого щебня серого цвета, дресва и щебень серого цвета. Ниже по склону залегает обычной чехол грубообломочного материала. Таким образом, фактически имеют место три точки отсчета для измерения пути перемещения обломочного чехла (L_1 , L_2 , L_3) за время экранирования. Это, по-видимому, отражает скорость смещения трех отдельных стратиграфических слоев, слагающих в целом обломочный чехол на склоне (см. рис. 5, в). Однако этот вопрос требует дополнительного изучения. Измерение пути перемещения обломков проводят рулеткой от точки задержания дерева (комля) до соответствующих нижних границ распространения обнаженных участков на склоне.

Возраст куртины кедрового стланика, служащего экраном на данном объекте, определен М. Л. Васильевым по спилу на высоте 20 см над комлем основного ствола и составил 98 лет. Известная специфика развития куртин кедрового стланика обычно не дает уверенности в том, что возраст основного современного ствола отвечает возрасту куртины в целом. Последний может быть значительно больше, поэтому к результатам измерения возраста куртин следует подходить с большой осторожностью, а полученную выше оценку возраста экрана считать минимальной и соответственно результат измерения скорости смещения — максимальным.

МЕТОД ПО НАКЛОНУ ДЕРЕВЬЕВ

Наклоненные деревья являются индикатором подвижек оползней, схода снежных лавин и селей, ледниковых трансгрессий, проявления крипа, солифлюкции и других процессов (рис. 26). В наклоненном стволе формируются асимметричные годовичные кольца древесины. Различия их ширины максимальны по диаметру, ориентированному в сторону наклона дерева. Изучение асимметрии годовичных колец древесины в стволах деревьев позволяет датировать ЭГП и выявлять частоту их проявления на конкретных участках за несколько столетий [3, 20, 31 и др.].

Особенности отложения годовичных колец изучаются на спилах или керне древесины, отобранных на наклоненной или изогнутой части ствола. КERN отбирается по диаметру, соответствующему направлению наклона дерева. Если дерево могло наклоняться в разные стороны, то для выявления дат наклона необходим спил.

Для оценки эксцентричности годовичных колец производится измерение их ширины в креновом и тяговом радиусах древесины. Ширина каждого годовичного кольца измеряется под микроскопом с помощью окулярной шкалы с точностью $\pm 0,05$ мм. Результаты измерений, отнесенные к конкретным датам, вписываются в паспорт. По этим данным для каждого годовичного кольца рассчитыва-

ется коэффициент крена хвойных K_x и лиственных K_l пород деревьев по формулам, предложенным В. И. Турманиной [20]:

$$K_x = R_k / R_t; K_l = R_t / R_k,$$

где R_k — ширина годичного кольца в креновом радиусе древесины; R_t — то же, в тяговом радиусе древесины.

В стволе нормально растущего дерева коэффициент крена равен или близок к единице. При наклоне ствола откладываются годичные кольца с коэффициентом крена больше единицы. Чем больше наклонен ствол, тем выше значение коэффициента крена. После завершения наклона и прекращения действия ЭГП значение коэффициента крена постепенно уменьшается и стремится к единице. При повторном наклоне ствола в нем вновь начинают откладываться асимметричные годичные кольца и значение коэффициента крена резко возрастает. При определении коэффициента крена не имеет значения изменение ширины годичных колец в зависимости от физиологических и климатических факторов, так как он определяется для каждого годичного кольца.

По ширине годичных колец в креновом и тяговом радиусах и по коэффициентам крена составляются совмещенные диаграммы для каждого модельного дерева [12]. По ним выделяют даты наклона деревьев с точностью до 1 года, которые вносят в паспорт и при исключении других факторов, вызывающих наклон деревьев (например, ветровалов), рассматривают как даты проявления ЭГП. Если процесс развивался в течение нескольких последовательных лет и сопровождался увеличением наклона ствола, то он фиксируется возрастанием коэффициента крена в эти годы. Выбор нескольких модельных деревьев в разных местах исследуемого участка позволяет увеличить количество и улучшить качество информации о датах проявления процессов. Естественно, что из общего числа случаев действия процессов могут выпасть случаи проявления маломощных или повторных ЭГП в течение одного года.

По числу дат проявления ЭГП за весь интервал времени жизни модельных деревьев рассчитывается минимальная частота исследуемого геологического процесса. На сильно наклоненных стволах деревьев в тот же или на следующий год из спящих почек

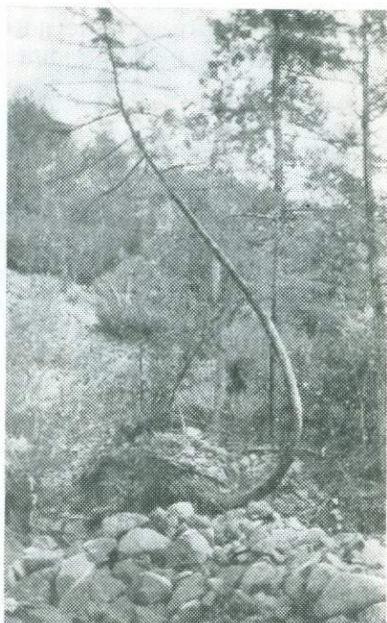


Рис. 26. Лиственница, наклоненная селевым потоком. Забайкалье, Бургузинская впадина

отрастают вертикальные побеги, по возрасту которых также можно установить дату наклона дерева.

МЕТОД ПО СБИТОСТЯМ

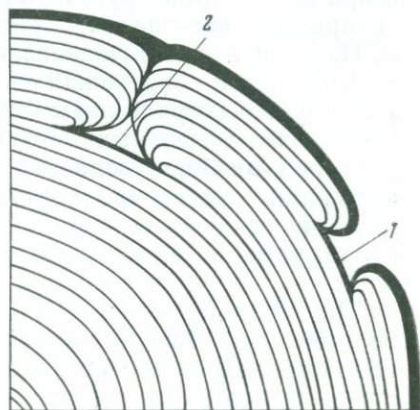
Обломки горных пород, перемещаемые селевыми потоками, снежными лавинами, камнепадами, обвалами и ледниками, воздействуют на деревья и оставляют на них следы механических повреждений. Вмятины, сбитости коры, раны и образующиеся на их месте раневые валики, шрамы, а также следы механических повреждений камбиального кольца, сохранившиеся только в структуре древесины, являются индикатором проявления указанных геологических процессов (рис. 27). По приуроченности механических повреждений к годичным кольцам древесины устанавливаются даты и частота ЭГП за время жизни деревьев, т. е. за несколько последних столетий [16, 31].

В анатомо-морфологическом строении стволов старых деревьев может фиксироваться несколько разновременных повреждений (рис. 28). Они находятся на стороне ствола, обращенной к направлению движения процессов, наиболее характерны в нижней двухметровой части, но иногда встречаются на высоте до 10—15 м. При неоднократном механическом воздействии на одно и то же место ствола возникает несколько ступеней разновременных раневых валиков.

Рис. 27. Следы сбитостей на стволах деревьев от воздействия селей. Северное Прибайкалье, р. Душканчанка

Рис. 28. Разновидности сбитостей на стволах деревьев.

1 — открытая сбитость, образовавшаяся 3 года назад; 2 — заросшая сбитость, образовавшаяся 8 лет назад



Возраст сбитостей определяют обычно на нескольких спилах, отобранных из нижней двухмерной части стволов модельных деревьев, на которых сохранились следы механических повреждений. Места повреждений хорошо распознаются на спилах по более темной окраске древесины и волнообразным изгибам годовичных колец раневых валиков, закрывающих сбитость (рис. 29). На спилах устанавливается число повреждений за время жизни дерева и каждое из них датируется с точностью до 1 года по подсчету годовичных колец, отложенных после деформации. Если удастся установить, что повреждена ранняя древесина годовичного кольца, а в раневом валике отложена поздняя древесина этого же кольца, то сбитость датируется более определенно — вегетационным периодом года отложения этого кольца. Даты проявления ЭГП, установленные по сбитостям, и возраст модельных деревьев вписываются в паспорт. По этим данным по формуле (17) рассчитывается частота ЭГП и выявляются ритмы активизации процессов.

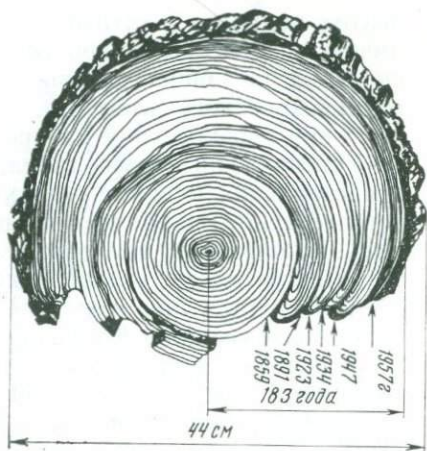


Рис. 29. Пример практического определения дат прохождения селей по сбитостям (раневым валикам), обычно размещенным на одной стороне дерева, подверженной воздействию ЭГП. По В. П. Лапердину, Ю. Б. Тржцинскому

МЕТОД ПО ПОГИБШИМ ДЕРЕВЬЯМ И ПНЕВОЙ ПОРОСЛИ

Мощные селевые потоки, снежные лавины, катастрофические наводнения и подвижки ледников, обвалы, извержения вулканов и некоторые другие геологические процессы сопровождаются массовой гибелью деревьев. Погибшие деревья остаются на месте своего произрастания или переоткладываются. Они могут находиться на поверхности, в частично погребенном, погребенном или затопленном состоянии. При благоприятных условиях погребенные деревья могут сохраняться в отложениях в течение тысячелетий. В общем случае дата массовой гибели деревьев отвечает времени действия ЭГП и устанавливается методом перекрестного датирования, по возрасту пневой поросли, а если эти и другие методы «не работают», то она определяется точно с помощью радиоуглеродного метода.

При полевых исследованиях в зоне действия прошлых и современных процессов выявляются поверхности и отложения с погибшими деревьями. Их разновозрастность может быть установлена по комплексу качественных признаков: по сохранности древесины,

высоте подроста и степени зарастания, по составу отложений, наличию погребенных почв, горизонтов пней и т. д. Со стволов нескольких погибших деревьев, отобранных в пределах каждого разновозрастного элемента, делаются спилы, которые используются при перекрестном датировании.

Установленные даты гибели деревьев обычно не дают полного представления о всех случаях проявления ЭПП. Они скорее свидетельствуют о наиболее мощных процессах. Поэтому метод может быть использован для определения частоты ЭПП в сочетании с другими методами исследования, как это сделали Е. Д. Хелли и В. С. Ла Марч при изучении хронологии и частоты катастрофических наводнений в Калифорнии в текущем тысячелетии.

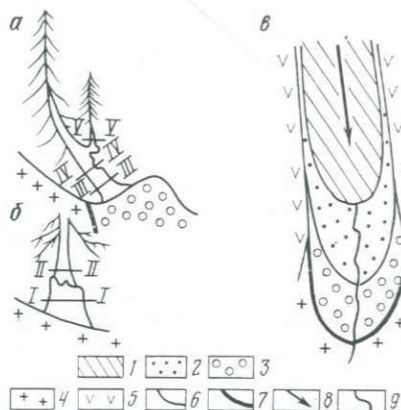
Массовая гибель деревьев наблюдается также при затоплении, например в результате перегораживания долины оползнем или обвалом и образования завального озера. Время этих событий устанавливается по дате гибели деревьев с помощью перекрестного датирования. Так, после прорыва завального оз. Яшилкуль в 1966 г. на его дне обнажился хорошо сохранившийся погибший можжевельниковый лес. Сравнение дендрограмм прироста годовичных колец погибшего и живого дерева, растущего на берегу озера, позволило А. А. Максиму установить, что озеро и обвал-оползень, создавший его плотину, образовались в 1833 г. Отметим, что возраст наиболее старых деревьев, произрастающих на обвалах и поверхностях, освобожденных от ледников и озер, на продуктах аккумуляции мощных селей и снежных лавин, проявившихся десятки и сотни лет назад, отвечает минимальному времени действия



Рис. 30. Разновозрастные растительные сообщества на селевом конусе выноса притока р. Кодори. Южный склон Главного Кавказского хребта

Рис. 31. Комплексные измерения движения ледника дендрохронологическими методами.

а — дерево, наклоненное льдом на краю морены, покрытой молодым древостоем; *б* — пеня старого упавшего дерева, расположенный на древней морене, с порослью молодого дерева на нем; *в* — схема распространения ледниковых отложений. 1 — ледник; 2 — морена, покрытая кустарником; 3 — морена, покрытая молодым древостоем; 4 — древняя морена; 5 — боковые морены; 6 — границы ледниковых отложений; 7 — граница современного максимального продвижения ледника; 8 — направление движения ледника; 9 — водоток. Места спилов: I—I — на пне старого упавшего дерева; II—II — на молодом дереве; III—III — на дереве, наклоненном ледником; IV—IV — на месте шрама от льда; V—V — на побеге, образовавшемся на подрезанной льдом ветви



этих процессов. (рис. 30). Более точные даты событий устанавливаются с помощью фитоценологического метода [20].

В процессе схода снежных лавин, селей и обвалов возникают прочесы в лесу, но продолжают жить корневые системы деревьев, сохранившиеся в грунте. В тот же или на следующий год от них образуется пневая поросль, по возрасту которой определяются даты гибели деревьев и действия ЭГП с точностью до 1 года [31]. В пределах зоны действия ЭГП выделяют разновозрастные порослевые насаждения, и в каждом из них определяют возраст наиболее старых растений. Выявленные даты можно использовать для расчета частоты ЭГП обычно за последние 50 лет по формуле (17).

Наиболее полные и точные сведения о частоте проявления ЭГП в прошлом могут быть получены при дублировании несколькими дендрохронологическими методами, как это показано на схеме Д. Лоренса применительно к ледникам (рис. 31). Измерения возраста разных элементов рельефа комплексом дендрохронологических методов позволяют получить обширную информацию о пространственном развитии ледника в различные отрезки времени. Так, минимальное время формирования древней морены определяется по пневой поросли и составляет сумму годовичных колец старого и молодого деревьев. Время отступления ледника равно возрасту молодого древостоя и кустарника на соответствующих моренах, а время воздействия ледника на наклоненное дерево — числу эксцентричных годовичных колец на нем. Дублирование этого результата достигается путем измерения возраста шрама на стволе наклоненного дерева, а также возраста побега, образовавшегося на подрезанной льдом ветви.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ ПРЕРЫВИСТЫХ ЭГП**ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Активность прерывистых ЭГП имеет статистический смысл. Наиболее удобной в настоящее время единицей ее измерения является частота (см. гл. 1, 2). Общим признаком любых методов, которые могут применяться для такой оценки активности прерывистых ЭГП, являются необходимость и достаточность измерений только на уровне «да—нет», т. е. только фиксация фактов проявления ЭГП без каких-либо дополнительных оценок и исследований [25]. Методы таких измерений могут быть исключительно разнообразны и основаны на тех или иных геологических данных, наблюдениях, исторических сведениях, использовании разных приемов датировки абсолютного возраста (например, радиоуглеродного, дендрохронологического и т. д.).

Необходимые данные могут быть получены и в результате современных режимных наблюдений за проявлением прерывистых ЭГП. При проведении таких измерений следует учитывать две наиболее важные особенности: 1) измерения для оценки активности прерывистых ЭГП нецелесообразно проводить на единичных формах их проявления; 2) поскольку понятие активности прерывистых ЭГП имеет статистический смысл, то измерения должны проводиться на статистически однородных объектах; процедура их выбора в реальных природных условиях может быть очень разнообразна.

Кроме того, следует отметить особенность технической стороны измерений: они должны быть весьма просты, но проводиться на значительных по площади территориях. Простота их будет обеспечиваться элементарностью оборудования объектов измерений (створов, реперов и т. д. или техникой измерений). Оперативные измерения на больших территориях наиболее целесообразно проводить с помощью современных технических средств, например авиации.

Практику применения методов региональной оценки активности в процессе режимных наблюдений покажем на примере метода русловых створов, разработанного для изучения режима проявления селей при стационарных исследованиях в Прибайкальской зоне БАМа.

**СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ ПРЕРЫВИСТЫХ ЭГП
И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Известен ряд методов для определения проявления селей: систематические наблюдения на специально оборудованных створах, фиксация селей по следам при маршрутном обследовании определенных бассейнов или просто данного района, опрос населе-

ния, дендрохронологические методы и т. д. Их общие недостатки — низкие технологичность и точность измерений. При фиксации проявления селей для измерения их активности это решающий недостаток, который снижает реальную возможность и целесообразность таких измерений. Для измерения активности селей как прерывистых процессов необходимы данные, полученные на больших территориях и, кроме того, в бассейнах разного порядка, подчас весьма труднодоступных. Особенно существенны трудности для слабо освоенных районов, каким является, например, зона БАМа. Применение авиации и, в частности, аэровизуального обследования с вертолета, что в последнее время нашло распространение, мало меняет положение. Это обусловлено тем, что практическое установление факта прохождения селей по их следам с воздуха весьма затруднено. Оно достоверно обычно только в случае крупных катастроф, в остальном аэровизуальное обследование малоэффективно из-за субъективной роли наблюдателя, не имеющего строгих критериев для оценки обстановки. В существенной степени это относится и к маршрутным обследованиям с целью фиксации селей по следам. Здесь также не исключена субъективная оценка, ибо, за исключением самых свежих следов или очевидных разрушений, после одной-двух смен погоды объективность вызывает сомнение. Какие-либо записи тут мало чем помогут и практически необходима память постоянного наблюдателя, что, с одной стороны, уже является определенным ограничением, а с другой — вновь подтверждает, если не неизбежность, то большую вероятность субъективной оценки даже при хорошем выполнении служебных обязанностей.

Важно отметить, что изменение прерывистых ЭГП, в том числе и селей, является производственной задачей. Поэтому предлагаемые методы должны быть технологически разработаны в такой степени, чтобы они могли применяться на производстве. Одним из элементов при этом должно быть исключение субъективных оценок при измерениях, что достигается, например, путем обследования искусственных меток, нарушение которых в результате воздействия ЭГП является признаком проявления процесса. В рассматриваемом случае — это русловые створы.

Таким образом, элементарная основа метода русловых створов, предложенная Е. А. Толстых и А. М. Лехатиновым, заключается в фиксации наличия или отсутствия прокрашенных створов в селевых руслах, по которым можно судить об отсутствии или прохождении селевых потоков на уровне «да—нет». Простота подготовки створов и возможность применения аэровизуальных обследований обеспечивают технологичность метода при массовых измерениях, в том числе и в труднодоступных районах. Метод применим как для разовых, так режимных наблюдений (при периодическом восстановлении створов). Одним из важных преимуществ метода является исключение субъективной оценки наблюдателя.

Специально следует остановиться на объектах измерения активности селей. Относя их к линейным процессам, отметим извест-

ный факт, что, зарождааясь часто в нивальном поясе, они пересекают многие высотные пояса, которые выделяются как инженерно-геологические области по геоморфологическому признаку. В то же время сели могут быть приурочены и к одному высотному поясу, например нивальному в Прибайкалье. Поэтому одного признака таксономических единиц инженерно-геологического районирования недостаточно для определения объекта измерения активности селей.

Отметим необходимость измерения активности селей для водотоков одного порядка, к которым можно применить понятие статистической однородности. При измерении активности селей объединение водотоков разного порядка неправомерно без достаточного обоснования (то же самое можно, по-видимому, сказать и о других прерывистых ЭПП). Таким образом, объектом измерения активности селей являются водотоки одного порядка, и величина их характерна для той таксономической единицы районирования, которую они захватывают. Следует учитывать и возможность дополнительных критериев для определения объектов измерения активности селей и прежде всего климатического районирования. Все указанные критерии являются способом выделения статистически однородного объекта, для оценки которого было бы корректно применение частоты как единицы измерения активности ЭПП.

Для каждых выделенных статистически однородных объектов (селевых бассейнов одного порядка с упомянутыми критериями более общего характера) возникает вопрос: за сколькими бассейнами необходимо вести наблюдение для получения достоверной оценки активности селей на данной территории, так как это связано с затратами на оборудование, восстановление створов и производство наблюдений. Известно применение частоты для оценки активности селей [32] — отношение числа бассейнов, в которых прошли сели в данном году, к общему числу бассейнов на данной территории (в указанной работе применяется термин «степень активности»). Для целей измерения активности селей такой подход, предполагающий учет общего числа бассейнов на данной территории, вряд ли рационален. Более целесообразно сформулировать и решить следующую задачу: по наблюдениям за некоторыми выбранными однородными селевыми бассейнами получить данные об активности селей, достаточно представительные для всей оцениваемой территории. Постановка и решение такой задачи аппаратом статистики и теорией вероятностей известно в разных областях знаний от социологии до контроля качества деталей в технике.

В общем виде задачу можно сформулировать следующим образом: определить с заданной достоверностью (доверительной вероятностью для доверительного интервала) состояние статистически однородного множества по состоянию части этого множества. Очевидна необходимость корректного выбора необходимого и достаточного меньшего множества.

Исходя из поставленной задачи, определим понятия объекта измерения: 1) элементарным объектом режимных измерений активности селей является отдельный селевой бассейн, оборудованный русловым створом или каким-либо другим способом подготовленный для фиксации факта прохождения селей; 2) собственно объектом режимных измерений активности селей является необходимое и достаточное статистически однородное множество селевых бассейнов, оборудованных русловыми створами или каким-либо другим способом подготовленных для фиксации факта прохождения селей, по состоянию которого можно судить о состоянии всех статистически однородных бассейнов на данной территории.

Развивая эти понятия для прерывистых ЭГП в целом, определим: 1) элементарным объектом режимных измерений активности прерывистых ЭГП является отдельная форма проявления процесса, предназначенная для периодического наблюдения ее состояния на уровне определения факта активизации и при необходимости специально оборудованная для этой цели; 2) собственно объектом режимных измерений активности прерывистых ЭГП является необходимое и достаточное статистически однородное множество проявлений одноименных ЭГП, подготовленных каким-либо способом для фиксации фактов их активизации, по состоянию которого можно судить о состоянии всех статистически однородных одноименных ЭГП на данной территории.

Резюмируя изложенное, отметим, что в качестве элементарных объектов измерения активности ЭГП могут также служить и формы проявления прерывистых процессов, на которых проводятся детальные наблюдения, например за оползнями на хорошо освоенном Южном берегу Крыма. Для изучения активности ЭГП предстоит создать опорную сеть. При этом в основе должны быть два критерия: достоверность получаемых данных и экономическая целесообразность этих работ. Предлагаемый метод русловых створов (и вообще методы измерения активности прерывистых ЭГП на уровне «да—нет»), предназначенный для использования в указанной опорной сети, отвечает обоим критериям.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РУСЛОВЫХ СТОРОВ

Региональный режим селей изучается на юго-восточном склоне Баргузинского хребта. На этой территории разбита сеть русловых створов в селевых бассейнах четвертого и второго порядков. Изложим основное содержание операций по методу русловых створов на примере этих двух объектов измерения активности селей.

1. Баргузинский хребет сложен чередующимися интрузивной и метаморфической формациями коренных пород. Следует отметить однообразие их свойств, влияющих на развитие ЭГП, что позволяет в этом смысле считать их однородными. Для юго-восточного склона Баргузинского хребта характерно однообразие климатических условий. Имеет место одинаковая высотная поясность сверху вниз: тундрово-гольцовая, мелколесье и лесная для горной

части и лесостепная для межгорных впадин. В соответствии с высотной поясностью закономерно развиты экзогенные геологические процессы, достаточно однообразные для всего региона.

Для горных территорий выделим четыре вида денудационных склонов (по Е. А. Толстых, А. А. Ключину), к каждому из которых приурочен определенный комплекс экзогенных геологических процессов. Первый вид с полным разрезом коры выветривания развит на пологих склонах и водоразделах с плотным лесным покровом; второй с полным по числу зон, но сокращенным по мощности разрезом коры выветривания — на относительно крутых склонах с маломощным чехлом смещенного крупнообломочного материала (курумы), под которым залегает сокращенный по мощности разрез коры выветривания, начиная со щебнистой зоны; четвертый вид — это обрывистые склоны, маломощная кора выветривания которых с поверхности представлена щебнистой или глыбовой зонами мелкозема. Отмечается однообразие видов денудационных склонов, в существенной степени связанное с высотной зональностью.

Таким образом, природные условия юго-восточного склона Баргузинского хребта можно считать однородными. Для измерения активности прерывистых ЭГП и, в частности, селей необходимо выбрать в нем некоторое множество статистически однородных селевых бассейнов. Выделение статистически однородных селевых бассейнов в указанном регионе целесообразно проводить, исходя из двух критериев: 1) порядка эрозионной и гидрографической сети (по Хортону), к которой они приурочены; 2) генезиса селевых очагов.

Объективно фиксируется четыре порядка селевых бассейнов. Для них характерны три генетических типа селевых очагов: рыхлый материал курумов, продукты выветривания — денудации с обрывистых склонов и конусы выноса селей.

Отметим, что в бассейнах первого порядка ввиду малого размера водосборов практически не формируются сели, но из-за большой крутизны склонов материал с них попадает в бассейны второго порядка. Зарождение селей в последних происходит также путем сдвижения курумов на денудационных склонах третьего вида. Поэтому статистически однородное множество бассейнов по генетическому характеру селевых очагов как продуктов сноса с третьего и четвертого видов склонов целесообразно выделять только для бассейнов второго порядка — это первый тип селевых бассейнов для измерения их активности (рис. 32).

Бассейны третьего порядка отличаются по генезису селевых очагов. В этих бассейнах имеют место вторичные селевые очаги в виде конусов выноса бассейнов меньшего порядка. Это второй тип статистически однородных селевых бассейнов (см. рис. 32).

И, наконец, резко по масштабу отличаются селевые бассейны четвертого порядка, представляющие собой реки, текущие обычно от водоразделов хребтов до межгорных впадин. В качестве селевых очагов в них доминируют выносы селей из бассейнов третье-

го порядка. Это третий тип статистически однородных бассейнов (см. табл. 5, рис. 6, б). Они имеют наиболее важное значение по влиянию на хозяйственные объекты в исследуемом регионе.

2. В практике пока не применялся статистический аппарат определения необходимого и достаточного числа наблюдаемых селевых бассейнов для оценки активности селей на данной территории. Пока это можно сделать, исходя из общих представлений статистики, т. е. практически число элементарных объектов измерения минимально допустимо равным пяти, а при десяти и более, видимо, будут получены результаты с достаточной степенью достоверности. На двух объектах измерения было сделано 14 и 9 русловых створов (см. рис. 6, а, 32). При этом, в частности, имелась в виду возможность проверки применимости более строгого аппарата определения необходимого и достаточного числа элементарных объектов измерения.

3. При составлении предварительной схемы размещения русловых створов необходимо планировать их более или менее равномерно для всей территории. В этом смысле для бассейнов четвертого порядка такое размещение сделано правильно (см. рис. 6, а), а для бассейнов второго порядка — неправильно (см. рис. 32). Нахождение последних в одном бассейне р. Малая Сухотка не позволяет получить данные об активности селей на всей изучаемой территории юго-восточного склона Баргузинского хребта. Результат будет относиться только к бассейну р. Малая Сухотка. Определим, в целом, что результат измерения активности прерывистых ЭГП будет справедлив только для той территории, на которой размещена сеть элементарных объектов измерения.

Наблюдательная сеть русловых створов позволяет при интерпретации результатов измерений сделать выводы, в частности, о факторах формирования селей, например по ареалу их проявления. Так, в настоящее время для Прибайкалья (в том числе и Баргузинской впадины) не установлено, что играет преваляющую роль

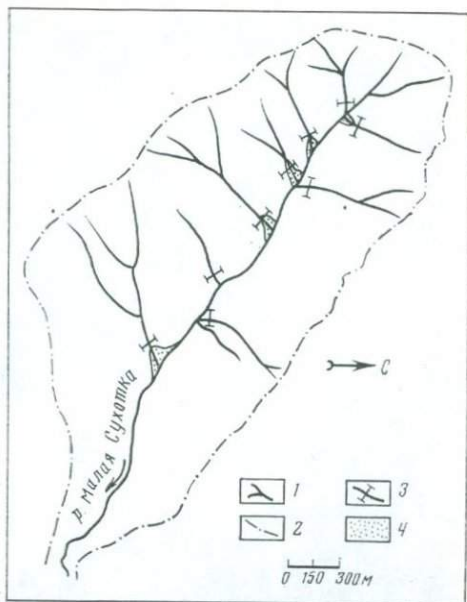


Рис. 32. Селевой бассейн третьего порядка р. Малой Сухотки с системой русловых створов на бассейнах второго порядка. Прибайкалье, Баргузинская впадина, станция «Алла» (ВСЕГИНГЕО).

1 — русла селевых потоков; 2 — водораздел; 3 — русловые створы; 4 — конусы выноса селей



Рис. 33. Прокрашенный створ в селевом русле. Прибайкалье, селевой бассейн на юго-восточном склоне Баргузинского хребта

в формировании селей: массовое таяние снега, ливневые осадки или другие факторы. Отметим, что, например, фиксация широких площадей проявления селей будет служить признаком первого фактора, а узкие полосы проявления селей в соответствии с движением ливневых фронтов будут индикатором решающего влияния ливневых осадков. Данный подход, включая понятие «ареал проявления», применим при изучении любых ЭГП.

4. Прокрашивание русловых створов осуществляется белой несмываемой краской (масляной или на нитрооснове) в виде сплошной линии по крупным камням, при необходимости специально уложенным в створе (рис. 33). Известен эффект легкого обнаружения линейных объектов с большого расстояния. Этим и обусловлена необходимость сплошной линии, так как наиболее целесообразно в данном методе применение аэровизуального обследования. Существенно важно также закрепление створов на бортах русла для последующего их обнаружения после сноса покрашенных камней в русле.

5. Схема размещения русловых створов — это разновидность карты фактического материала (см. гл. 1). Она является составной частью общей карты такого рода для всех объектов по измерению параметров ЭГП на данной территории. Поскольку эти объекты предназначены для режимных наблюдений, то четкости составления схемы уделяется особое внимание, в том числе и с учетом возможности ее использования разными людьми.

6. Краткая инженерно-геологическая характеристика природных условий объекта измерения должна содержать только ту информацию, которая непосредственно связана с проявлением изучаемых селей (см. табл. 5).

7. После завершения всех работ по подготовке объекта измерения осуществляется его аэровизуальное обследование с целью установления возможности обнаружения всех элементарных объектов измерения и определения характера и объема необходимых исправлений.

8. В этап подготовки элементарных объектов измерений входит и восстановление створов, снесенных селями или в какой-то степени нарушенных, например, обычными паводками.

9. Аэровизуальное обследование производится при строгом планировании полетного задания на проведение данных измерений, которое осуществляется на основе схемы размещения наблюдательной сети.

10. Вычисление активности селей производится по формуле (17).

1. Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л., Гидрометеониздат, 1974.
2. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М., Недра, 1981.
3. Девдариани А. С. Измерение перемещений земной поверхности. М., Наука, 1964.
4. Иверонова М. И. Опыт количественного анализа процессов современной денудации. — Изв. АН СССР. Сер. географ., 1969, № 2, с. 13—24.
5. Изучение режима оползневых процессов. М., Недра, 1982.
6. Клюкин А. А. Применение фитоиндикационного метода для определения скорости современной денудации склонов куэст Крыма. — Физическая география и геоморфология, 1977, вып. 17, с. 14—21.
7. Клюкин А. А., Толстых Е. А. Методика и первые результаты стационарных наблюдений за скоростью денудации известняковых обрывов в Горном Крыму. — Геоморфология, 1973, № 4, с. 43—50.
8. Кюнтцель В. В. Закономерности оползневого процесса на территории СССР. М., Недра, 1980.
9. Методические рекомендации по организации и проведению инженерно-геологической съемки масштаба 1:50 000 (1:25 000) селе-лавино-оползне-обвалопасных районов. М., 1981 (ВСЕГИНГЕО).
10. Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования территории. М., 1981 (ВСЕГИНГЕО).
11. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000. М., Недра, 1978.
12. Методическое руководство по комплексному изучению селей. М., Недра, 1971.
13. Муратов В. М. Об археологическом методе изучения склоновых процессов. — Вопросы географии, 1971, сб. 85, с. 94—102.
14. Подгородецкий П. Д., Душевский В. П. Использование археологических данных для определения скорости отступления известняковых обрывов в Предгорном Крыму. — Геоморфология, 1974, № 3, с. 87—93.
15. Рац М. В. Структурные модели в инженерной геологии. М., Недра, 1973.
16. Руководство по изучению селевых потоков. Л., Гидрометеониздат, 1976.
17. Склоновые процессы. Вып. 2. Фотограмметрический метод изучения склоновых процессов. Под ред. Ю. Ф. Книжникова, В. С. Федоренко. М., Изд-во МГУ, 1977.
18. Суловский В. И., Коджаспиров А. А. Измерение скорости денудации склона методом микроинвентаризации. — В кн.: Сели в горных районах СССР. М., Изд-во МГУ, 1979, с. 103—111.
19. Суходровский В. Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М., Наука, 1979.
20. Теоретические вопросы фитоиндикации. Л., 1971.
21. Тимофеев Д. А. Терминология денудации и склонов. М., Наука, 1978.
22. Толстых Е. А. Основы методики режимных наблюдений за свойствами и состоянием горных пород методом систем расчетных связей. — В кн.: Материалы Межведомственного совещания по мелноративной гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972, вып. 3, с. 119—122.
23. Толстых Е. А. Новое в измерении скорости смещения грубообломочного материала на склонах (по материалам стационаров в Прибайкальской зоне БАМа). — В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. Теоретические и методические проблемы повышения качества и эффективности инженерно-геологических исследований. Ростов-на-Дону, 1980, с. 79—90.
24. Толстых Е. А. Принцип паспортизации при изучении экзогенных геологических процессов. — В кн.: Изучение и прогноз экзогенных геологических процессов. Тр. ВСЕГИНГЕО, 1980, вып. 134, с. 72—79.

25. Толстых Е. А. Стационарное изучение экзогенных геологических процессов. — В кн.: Материалы совещания. Методы изучения режима и прогноза экзогенных геологических процессов. Тбилиси, 1980, с. 46—48.
26. Толстых Е. А. Метод стереофотоплощадок для измерения скорости морозного выветривания горных пород. — В кн.: Тез. докл. Междувед. совещ., 9—11 февр. 1982 г. М., 1982 (ВСЕГИНГЕО).
27. Толстых Е. А., Добрынина З. К., Плетнев А. А. Программа для вычисления и статистической обработки инженерно-геологических свойств трещиноватых горных пород. — В кн.: Методические рекомендации. М., 1981 (ВСЕГИНГЕО).
28. Толстых Е. А., Онготоев А. Р., Сорокина Е. И. Метод фототеодолитных площадок (по осыпям) для измерения скорости денудации горных пород. — Тр. ВСЕГИНГЕО, 1981, вып. 144, с. 53—62.
29. Толстых Е. А., Сагайдачный Ю. А. О движении курумов. — В кн.: Тез. докл. Междувед. совещ., 9—11 февр. 1982 г. М., 1982 (ВСЕГИНГЕО).
30. Торнес Дж. Б., Брунсден Д. Геоморфология и время. М., Недра, 1981.
31. Фитоиндикационные методы в гляциологии. М., 1971.
32. Шеко А. И. Закономерности формирования селей и их прогноз. М., Недра, 1980.
33. Alestalo J. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. — Fennia, 105, Helsinki, 1971, 140 pp.
34. Gray J. T. Postglacial rock wale recession in the Ogilvie and Wernecke mountains, Central Yukon territory. — Intern. Geogr. Congress. Montreal, 1972, vol. 1, pp. 24—26.
35. Field methods for the study of slope and fluvial processes. — Rev. geomorphol. dynam., 1967, 17, N 4, pp. 145—188.
36. La Marche V. C. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence, White Mountains, California. — Geol. Surv. Profess. Pap., 1968, 352—1, p. 341—377.
37. Mortinsen H. Eine einfache Methode der Messung der Hangabtragung unter Wald und einige bisher damit gewonnenen Ergebnisse. — Z. Geomorphol., 1964, 8, N 2, s. 213—222.
38. Young A. The rate of slope retreat. — Inst. Brit. Geogr. Spec. Publ., 1974, N 7, pp. 65—78.

	Стр.
Предисловие	3
Глава 1. Общее содержание методики измерения параметров ЭГП	5
Измерение параметров ЭГП как один из аспектов формализации инженерной геодинамики	5
Метод и методика при измерении параметров ЭГП	6
Общие рекомендации по производству работ при измерении параметров ЭГП	9
Глава 2. Единицы измерения параметров ЭГП	13
Понятие измерения ЭГП	13
Понятие активности ЭГП	15
Системы единиц измерения параметров ЭГП	18
Глава 3. Методические принципы измерения параметров ЭГП	25
Теоретическая основа	25
Масштабность измерений	25
Дублирование	29
Равнозначность измерений	31
Паспортизация	33
Глава 4. Систематизация методов измерения параметров ЭГП	38
Классифицирование методов изучения ЭГП	38
Общая классификация методов измерения параметров ЭГП в естественных условиях	41
Глава 5. Методы измерения параметров ЭГП, основанные на оценке смещений отдельных частиц	49
Общие положения	49
Метод фотоплощадок	53
Метод стереофотоплощадок	56
Метод фототеодолитных площадок	58
Метод фототеодолитных площадок по осыпям	61
Метод покрашенных склоновых створов	63
Метод склоновых стереофотоплощадок	65
Метод фототеодолитных склоновых площадок	68
Глава 6. Методы измерения параметров ЭГП, основанные на улавливании снесенного материала	70
Общие положения	70
Метод площадок-ловушек	71
Метод траншей-ловушек	73
Метод овражных уловителей	74
Метод осыпных тел	76
Глава 7. Методы измерения параметров ЭГП, основанные на фиксации целостных изменений на объектах измерения	79
Общие положения	79
Метод микронивелировок	79
Геолого-геоморфологические методы	82
Историко-археологические методы	84
Глава 8. Дендрохронологические методы измерения параметров ЭГП	87
Общие положения	87
Метод по обнаженным корням	92

Метод по погребенным стволам	94
Метод по деформированным корням	95
Метод дендрозкранов	98
Метод по наклону деревьев	100
Метод по сбитостям	102
Метод по погибшим деревьям и пневой поросли	103
Глава 9. Методы измерения активности прерывистых ЭГП	105
Общие положения	106
Сущность методов измерения активности прерывистых ЭГП и область их применения	106
Практическое применение метода русловых створов	109
Список литературы	114

*Евгений Александрович Толстых,
Александр Анатольевич Ключин*

**Методика измерения количественных параметров
экзогенных геологических процессов**

Редактор издательства Л. А. Дубкова
Обложка художника В. У. Полякова
Технический редактор Т. А. Герчикова
Корректор Р. Т. Баканова
ИБ № 4984

Сдано в набор 25.01.84. Подписано в печать 08.05.84. Т-11411. Формат 60×90/16.
Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая.
Усл. печ. л. 7,5. Усл. кр.-отт. 7,63. Уч.-изд. л. 7,2. Тираж 2500 экз.
Заказ 764/8976—2. Цена 40 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12.
Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ

Вниманию читателей!

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ**

**Месчан С. Р.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕОЛОГИЯ
ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ**

25 л. 1 р. 70 к.

Обобщены результаты экспериментальных исследований, полученные в области реологии глинистых грунтов и связанные с использованием глинистых оснований при возведении крупных объектов промышленного и гражданского строительства. Рассмотрены вопросы реологии твердых тел, их деформации и прочности. Изложены основы теорий ползучести и релаксации напряжений, даны краткие сведения о глинистых грунтах и протекающих в них реологических явлениях в природных условиях. Описаны методы определения мгновенных и ползучих деформаций, избыточного давления в поровой воде, бокового давления и объемных деформаций. Изложены вопросы влияния уплотняющего давления глинистых грунтов на их реологические свойства.

Для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами изучения свойств глинистых грунтов, проектированием гражданских, промышленных, гидротехнических сооружений и т. п.

Молоков Л. А.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

15 л. 75 к.

Систематизирован опыт изучения инженерно-геологических процессов, развивающихся при строительстве и эксплуатации сооружений. Описаны виды инженерных сооружений и особенности их воздействия на геологическую среду. Рассмотрены характерные особенности наиболее распространенных инженерно-геологических процессов (выветривания, разуплотнения, гравитационных деформаций склонов и откосов). Уделено внимание теоретическому обоснованию прогнозов инженерно-геологических процессов и повышению их достоверности; освещены закономерности развития этих процессов на примерах наиболее распространенных и сложных видов строительства (гражданского, промышленного, гидротехнического и подземного).

Для инженеров-геологов, проектировщиков и строителей, а также специалистов, занятых вопросами охраны окружающей среды.

Солодухин М. А.
**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО
И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

2-е изд., перераб. и доп. 16 л. 80 к.

Обобщен опыт инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства. Рассмотрены состав и стадии инженерно-геологических работ, основные методы исследований и особенности методики таких работ для различных видов строительства. Во втором издании (1-е изд. — 1975) все главы полностью переработаны с учетом действующих нормативных документов, изменены перечни выпускаемого бурового и исследовательского оборудования.

Для специалистов, занятых на инженерно-геологических изысканиях, проектировщиков, строителей и др.

●

**Финаев И. В., Домрачев Г. И., Рудченко Э. Г.
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ЛЁССОВЫХ ПОРОД**

11 л. 55 к.

Рассмотрены критерии литогенеза лёссовых пород в связи с инженерно-геологической оценкой. Обобщены материалы исследований северной краевой зоны их распространения. Освещены инженерно-геологические особенности лёссовых пород, в том числе физико-механические свойства и просадочность. Особое внимание уделено структурам этих пород и их влиянию на физико-механические свойства. Проанализировано изменение лёссовых пород при их обводнении как основного фактора антропогенного литогенеза, в том числе при инфильтрации и подтоплении застроенных территорий. Сделаны выводы об учете инженерно-геологических условий при проектировании и эксплуатации сооружений. Даны новые рекомендации по охране лёссовых территорий.

Для специалистов в области инженерной геологии, работников геологических, проектно-изыскательских и строительных организаций.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов:

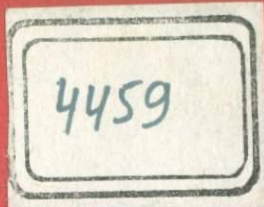
№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект. 61;

№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

40 коп.

103



НЕДРА