

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 528.77 : 551.435.04 (575.3)

Е. А. ФИНЬКО, Д. Г. ЦВЕТКОВ

**ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ГОРНОМ РАЙОНЕ ТАДЖИКИСТАНА
АЭРОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Приводятся результаты стереофотограмметрической обработки разно-временных крупномасштабных аэрофотосъемок для количественной оценки процессов оврагообразования в высокосейсмичном горном районе Таджикистана. Целесообразность использования аэрофотосъемки здесь методически оправдана тем, что полученные скорости овражной денудации на порядок превышают ошибки измерений. Для оценки точности измерений специально выполнена повторная фототеодолитная съемка отдельных участков в пределах площади обработки аэрофотосъемок.

Объект исследования — типичные для данного района два крупных оврага с общей зоной аккумуляции (конусом выноса).

Получены количественные показатели изменения их площадей, высоты поверхности и объемов.

Количественные данные о пространственных изменениях рельефа, полученные путем прямых измерений, служат исходным материалом при изучении механизма и причин экзогенных процессов и представляют надежную основу для прогноза и реконструкции их развития. Поля изменения высоты поверхности исследуемого объекта, включая его зоны денудации и аккумуляции и других производных показателей (площадей, объемов, средних слоев снесенного и переотложенного материала и т. д.), приобретают первостепенное значение.

Практически единственным методом непрерывной по площади фиксации изменений рельефа таких труднодоступных объектов, как горные склоны, крупные глубокие овраги и т. п. природные образования, является повторная стереофотограмметрическая съемка. Применительно к изучению кинематики рельефа отдельных участков крутых склонов эффективна наземная стереофотограмметрическая съемка — НСС (Иверонова, 1969; Книжников, 1970; Благоволин, Цветков, 1971; Гобеджишвили, 1973). Однако для сплошного картографирования сложных в плане природных объектов более целесообразной оказывается аэрофотосъемка (АФС), как плановая, так и перспективная (Гельман, Книжников, 1975).

Для оценки возможностей АФС при изучении скоростей экзогенных процессов в горных условиях сотрудниками Института географии АН СССР в 1967—1973 гг. были выполнены методические исследования в Сурхобской долине Таджикистана — районе весьма активном как в тектоническом отношении, так и с точки зрения современного проявления экзогенных процессов.

Продольная Сурхобская долина приурочена к крупнейшему региональному Гиссаро-Кокшаальскому разлому и является границей между высокогорными хребтами Тянь-Шаня и Памира. Это — сейсмогенная зона первой категории (Губин, 1974). На протяжении исторического времени здесь неоднократно проявлялись разрушительные землетрясения. Для нее характерны контрастные тектонические движения новейшего времени (Ранцман, 1959), интенсивные современные вертикальные и горизонтальные движения (Финько, Энман, 1971; Конопальцев, 1971).



Рис. 1. Снимок оврага № 1, полученный с левого конца фото-теодолитного базиса в сентябре 1971 г.
На заднем плане — участки наибольших изменений А и Б

В пределах горного обрамления Сурхобской долины эрозионные процессы протекают весьма интенсивно. По количеству наносов бассейн Вахша, куда относится р. Сурхоб, держит своеобразный рекорд среди рек Средней Азии — вынос взвешенных наносов и растворенных веществ составляет здесь 2890 т/км^2 за год, что в 71 раз превышает вынос Таласа, в 9 раз — Нарына и в 4 раза — Соха. По расчетным данным подобный снос вызывает снижение поверхности в пределах водосбора Вахша в среднем на $1,16 \text{ мм/год}$ (Шульц, 1963).

В качестве объекта исследований в районе Гармского геодинамического полигона напротив сейсмостанции «Гарм» были выбраны два смежных крупных, глубокооврезанных (до 150 м) оврага (рис. 1) и связанный с ними общий конус выноса. Эти формы рельефа являются весьма типичными для южного обрамления Сурхобской долины. Исследуемые овраги приурочены к активно воздымающемуся в верхнем плейстоцене — голоцене Чорчоргскому блоку (Финько, 1970).

В пределах участка, изображенного на рис. 2, выделяются три резко отличающихся в генетическом и морфологическом отношениях типа рельефа. 1-й тип — задернованные склоны крутизной в $20\text{--}30^\circ$, составляющие нижнюю часть северного склона хребта Петра Первого. Они являются водоразделами между оврагами; здесь преобладает делювиальный снос. 2-й тип — овраги с четко выраженной бровкой и крутыми (до $40\text{--}45^\circ$) обвально-оползевыми оголенными склонами, выработанными в коренных меловых породах — песчаниках, известняках, алевролитах, глинах, аргиллитах с прослоями и линзами гипса. Их происхождение мы связываем с активными гравитационными и эрозионными процессами в зоне приразломной повышенной трещиноватости пород. 3-й тип — слабо наклонная поверхность конуса выноса, сложенного пролювиальными отложениями, вынесенными из оврагов.

Исходными материалами для количественной оценки экзогенных процессов явились результаты стереофотограмметрической обработки

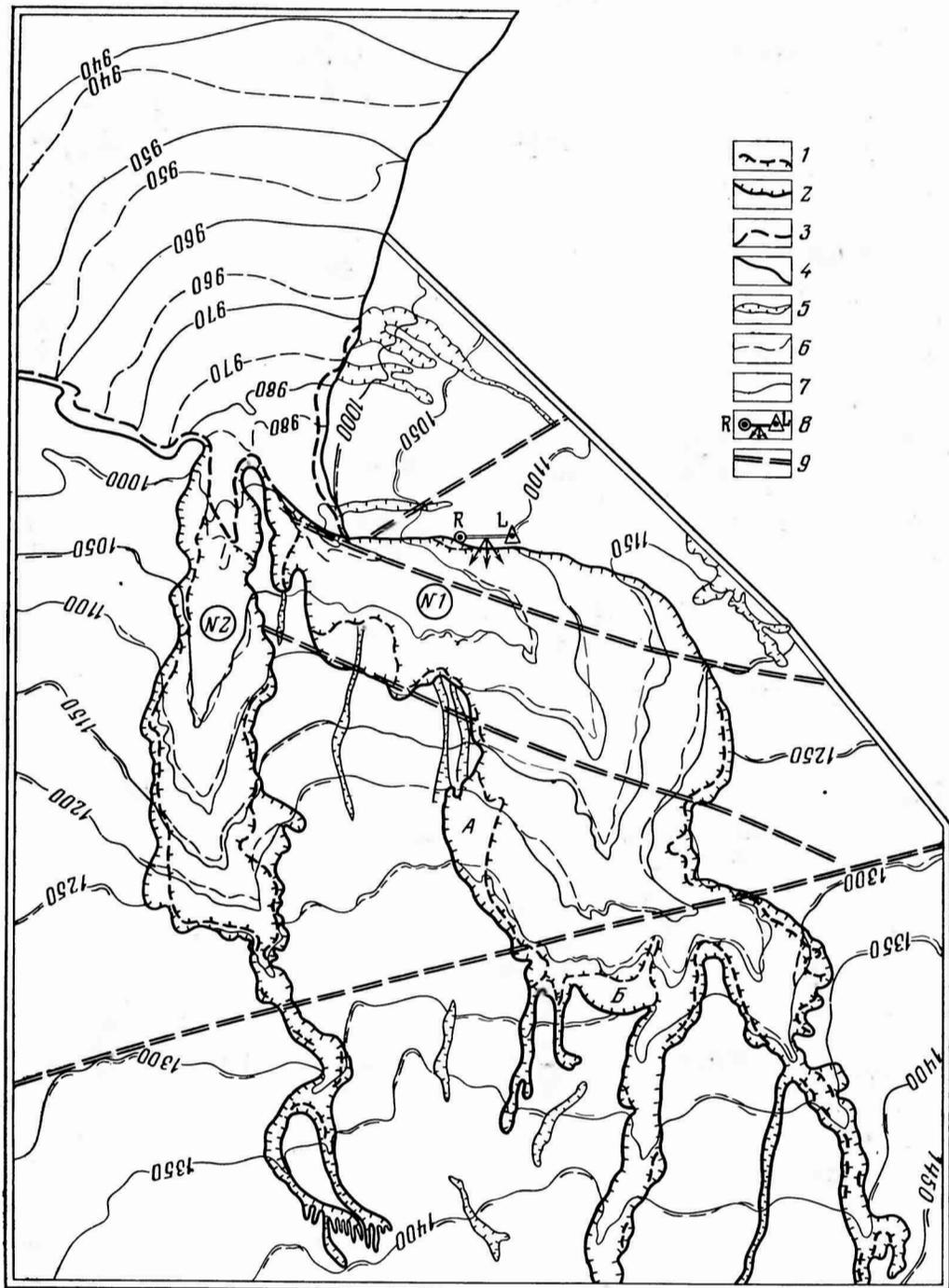


Рис. 2. Совмещенный план объекта исследований по результатам стереофотограмметрической обработки АФС 1949 и 1969 гг.

1 — бровка оврага 1949 г.; 2 — то же, 1969 г.; 3 — границы конуса выноса 1949 г.; 4 — то же, 1969 г.; 5 — эрозивные промоины на задернованных склонах; 6 — горизонталы 1949 г.; 7 — то же, 1969 г.; 8 — фототеодолитный базис с направлениями съемок; 9 — примерное положение разрывов разломной зоны

аэрофотоснимков 1949 (масштаб 1:17 000), 1967 (1:12 000) и 1969 гг. (1:15 000), а также специально выполненных сотрудниками ИГАН в 1967 и 1971 гг. наземных фототеодолитных съемок с одного и того же базиса длиной 60 м. НСС, предназначенная для детального изучения

одного из склонов оврага № 1, была использована также для геодезического обоснования и оценки точности обработки АФС 1967 г. По материалам АФС разных лет на стереометрографе составлены 3 топоплана в масштабе 1:5000 с высотой сечения 10 м в оврагах и 5 м на конусе выноса; по НСС на стереоавтографе — 2 топоплана в масштабе 1:2000 с высотой сечения 5 м¹.

Совместный анализ топопланов позволил количественно оценить активность развития некоторых экзогенных процессов за разные интервалы: суммарно за 20 лет (1949—1969 гг.) и отдельно за 2 года (1967—1969 гг.). Отметим, что последний приходился на аномально снежную зиму 1968/69 г., вызвавшую бурное весеннее снеготаяние и катастрофические изменения объекта исследований.

Стереофотограмметрической обработкой предусматривалось получить следующие показатели: 1) изменение в плане бровок оврагов и границ конуса выноса; 2) изменение рельефа внутри оврагов и на конусе выноса путем сопоставления разновременных горизонталей и отметок H в точках детальной сетки (Благоволин, Цветков, 1971); 3) изменения объема (ΔV) оврагов и конуса выноса.

Первоначально были составлены по НСС планы 1967 и 1971 гг., взаимная точность которых оценивалась по идентичным горизонталям и отдельным точкам на задернованных наиболее пологих участках склона. В среднем расхождения составили ± 1 м в плане и $\pm 0,5$ м по высоте для участков, отстоящих от базиса до 1,5 км. В процессе обработки обеих НСС было закоординировано около 10 точек, опознанных на негативах АФС 1967 г., которые послужили планово-высотным обоснованием ориентирования АФС 1967 г.

При обработке АФС 1967 г. на АФС 1949 и 1969 гг. были опознаны дополнительные идентичные твердые точки, обеспечивающие всю площадь исследований. Расхождения по ним всех трех АФС не превышали 5 м в плане и 2 м по высоте.

Сравнение высотных отметок, полученных в узлах детальной сетки (40×40 м) по горизонталям НСС и АФС-планов 1967 г., показало, что относительно НСС АФС-план построен со средней квадратической ошибкой по высоте $m_H = \pm 1,4$ м (для обнаженных склонов внутри оврага) и $m_H = \pm 0,9$ м (для точек на водоразделах пологих склонов). Средняя ошибка, являющаяся в данном случае систематической частью общей ошибки высотного совмещения этих планов, составила соответственно +0,5 м и +0,2 м.

Таким образом, обработка выполнена, строго говоря, не в абсолютной системе, а в условной — в системе ориентирования АФС 1967 г.

Рис. 2 представляет совмещенный топоплан, отражающий суммарные изменения за весь период. Из его анализа следует, что существенные изменения, значительно превышающие графическую точность метода, наблюдаются в пределах оврагов и на конусе выноса. Незначительные изменения в положении горизонталей на задернованных склонах скорее всего отражают ошибки картографирования, хотя и здесь не исключены небольшие изменения.

Изменения оврагов характеризуются двумя показателями — отступанием бровки и преобладающим смещением горизонталей вверх по тальвегам, свидетельствующем о размыве и снижении поверхности дна и склона. В 1949 г. бровка обоих оврагов была изрезанной в плане. Типичными для нее являлись узкие мысы, как, например, в центральной части оврага № 1 (рис. 2). Ее эволюция шла по линии срезания этих мысов, упрощения конфигурации оврагов при одновременном их расширении. Наибольшей ширины (более 400 м) овраги достигают в прираз-

¹ Всю обработку первичного материала, использованного в настоящей статье, выполнила Л. В. Рачкова, за что авторы приносят ей глубокую благодарность.

ломной зоне, где отмечается повышенная трещиноватость пород. Именно здесь бровка подвержена наибольшим изменениям. В верховьях, где ширина оврагов составляет около 30—50 м, изменения незначительны и не выходят за пределы графической точности проведения линии бровки (в среднем поперечная ошибка этой линии составляет ± 1 мм, т. е. ± 5 м на местности; на участках плохого опознавания бровки эта ошибка может достигать 3—4 мм).

Развитие оврагов в приразломной зоне происходит следующим образом: сначала в прибровочной части по вертикальным трещинам отседают от основного массива пород крупные скальные блоки, затем в процессе гравитационного перемещения вниз по склону они все в большей степени перерабатываются эрозионными процессами и в виде щеб-

Таблица 1

Площади S оврагов и их изменения ΔS за период с 1949 по 1969 г., тыс. м²

Объект	по АФС 1949 г.	по АФС 1967 г.	по АФС 1969 г.	ΔS	
				1949—1969 гг.	1967—1969 гг.
Овраг № 1	251	281	291	+40	+10
Овраг № 2	75	90	100	+25	+10

нистого материала выносятся из пределов оврага. При этом наибольшие изменения в конфигурации бровок происходят скачкообразно и связаны с катастрофическими этапами развития. Например, на участке *A* оврага № 1 бровка за 20 лет отступила на 50—80 м, а на участке *B* — на 50 м. Также значительное расширение оврагов связано с отрывом крупных блоков: на участке *A* в период 1949—1967 гг. блок площадью около 9 тыс. м² отделился от массива и в процессе оползания раскололся на ряд более мелких; один из них площадью около 2 тыс. м² в интервале 1967—69 гг. опустился еще на 2 м. На участке *B* смещение вновь образовавшегося скального блока площадью около 4 тыс. м² за отрезок 1949—1967 гг. составило 3 м. С 1967 по 1969 г. он раскололся на два более мелких блока с площадями соответственно 1 тыс. м² и 1,5 тыс. м², которые сместились вниз на 12 и 15 м (см. рис. 2).

В целом за весь период наблюдений отмечается тенденция к росту оврагов, что количественно отражено в табл. 1. Средняя скорость роста площади оврага № 1 за период 1949—1969 гг. составила 2 тыс. м²/год, а оврага № 2 — 1,25 тыс. м²/год. В интервале 1967—1969 гг., включающем аномальный в метеорологическом отношении год, средняя скорость роста площади оврагов возросла до 5 тыс. м²/год, что соответственно в 2,5 и 4 раза больше, чем среднегодовая скорость за 20 лет. Несложные подсчеты показывают, что при подобных скоростях, правда, без учета ускорения увеличения площади по мере роста оврагов, последние должны были образоваться несколько сот лет назад. Если среднегодовую скорость роста площади уменьшить даже в 10 раз, то время будет исчисляться первыми тыс. лет. Имеющиеся в нашем распоряжении датировки абс. возраста (Финько, 1970) не опровергают представления о молодости эрозионных форм Чорчорогского блока.

Склоны оврагов либо оголенные, либо с нарушенным дерновым покровом представляют зону преимущественной денудации и транзита материала. Действительно, сравнение горизонталей 1949 и 1969 гг. дает в общем однозначную картину — преимущественное их смещение в сторону бровки и вверх по тальвегам. Однако в некоторых местах внутри оврагов происходит задержка и накопление материала — временная аккумуляция.

Для количественной оценки величин денудации и аккумуляции был использован метод определения высот H_i и их изменений ΔH_i в точках i пересечения детальной горизонтальной сетки (Благоволлин, Цветков, 1971) с размером квадратов 40×40 м. Для оврага № 1 было использовано 178, для № 2 — 67 точек. На основе полей ΔH_i за периоды 1949—1969 и 1967—1969 гг. (рис. 3) были оконтурены и определены площади

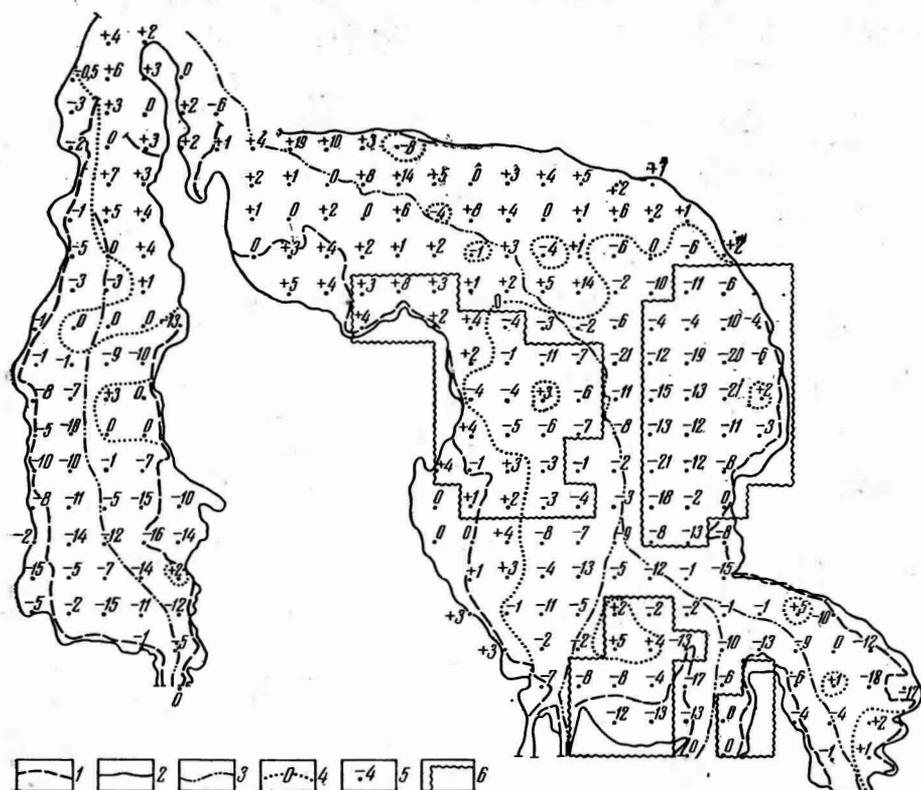


Рис. 3. Поле изменений высоты поверхности оврагов № 1 и 2 за период 1949—1969 гг.

1 — бровка оврага по АФС 1949 г.; 2 — то же, 1969 г.; 3 — тальвег оврага; 4 — граница между зонами денудации и аккумуляции; 5 — изменение высоты поверхности (m) в точке детальной сетки; 6 — участки, охваченные НСС в 1967 и 1971 гг.

(S) зон денудации и аккумуляции, средняя толщина слоев денудации (ΔH_g) и аккумуляции (ΔH_a), объемы снесенного (V_g) и переложеного (V_a) материала, общий баланс $B_0 = V_g + V_a$ внутриовражного материала и, наконец, $\overline{\Delta H}_0 = B_0 : S_0$ — общее среднее изменение высоты поверхности внутри оврагов (табл. № 2).

Из анализа таблицы следует, что за 20-летний период овраги представляли в основном источник выноса материала с общим балансом³, выраженным в объемной мере — 1273 тыс. m^3 . Интенсивность денудации во времени не оставалась постоянной: 56% от всего объема (—711 тыс. m^3) было вынесено за 2 года (1967—1969 гг.). Общий объем денудации в оврагах за 20 лет составил —1735 тыс. m^3 , из них +462 тыс. m^3 временно аккумуляировалось в пределах их днища и нижней части склонов. Сопоставление зон аккумуляции и денудации по

³ Поскольку плотность слоя денудации больше плотности слоя аккумуляции за счет разрыхления материала в последнем, то значения V_g и V_a , строго говоря, не сопоставимы с точки зрения определения баланса массы.

Изменение объемов оврагов за 1949—1969 гг.

Объект	Период	Зона денудации			Зона аккумуляции			Овраг в целом		
		S_g , тыс. м ²	$\overline{\Delta H}_g$, м	V_g , тыс. м ³	S_a , тыс. м ²	$\overline{\Delta H}_a$, м	V_a , тыс. м ³	B_o , тыс. м ²	S_o , тыс. м ²	$\overline{\Delta H}_o$, м
Овраг № 1	1949—1969	167	-7,5 (39) ¹	-1252	124	+3,2 (79)	+397	-855	291	-2,9
	1967—1969	148	-4,0 (78)	-592	143	+1,3 (110)	+186	-406	291	-1,4
Овраг № 2	1949—1969	69	-7,0 (43)	-483	31	+2,1 (24)	+65	-418	100	-4,2
	1967—1969	81	-4,0 (49)	-324	19	+1,0 (18)	+19	-305	100	-3,0

¹ В скобках указано количество точек и сетки, используемых для вычисления значений $\overline{\Delta H}_g$.

Таблица 3

Изменение объема конуса выноса за 1949—1969 гг.

Период	Зона денудации			Зона аккумуляции			Конус выноса в целом		
	S_g , тыс. м ²	$\overline{\Delta H}_g$, м	V_g , тыс. м ³	S_a , тыс. м ²	$\overline{\Delta H}_a$, м	V_a , тыс. м ³	B_k , тыс. м ²	S_k , тыс. м ²	$\overline{\Delta H}_k$, м
1949—1969	—	—	—	367	+4,4 (68)	+1615	+1615	367	+4,4
1967—1969	120	-0,5	-60	247	+1,6 (40)	+395	+335	367	+0,9

обоим временным интервалам показывает, что эти зоны в плане не являются устойчивыми.

Более показателен параметр $\overline{\Delta H}$. Так, за 20 лет средняя толщина слоя пород, снесенных со склонов оврагов, примерно одинакова: -7,5 и -7,0 м, что в пересчете на среднегодовые скорости составляет около -0,4 м/год. В интервале 1967—1969 гг. $\overline{\Delta H} = -4$ м, т. е. -2 м/год. Неравномерность во времени интенсивности сноса мы объясняем аномальными условиями зимы 1968/69 г. (необычная высота снегового покрова, определившая глубокое промачивание весной поверхностных отложений, усиленный поверхностный сток талых вод и активизацию всех экзогенных процессов).

Сопоставление 47 значений H_i , полученных по НСС 1967 и 1971 гг. на двух небольших участках склона оврага № 1 дало среднюю величину снесенного слоя -3,9 м, т. е. примерно -1,0 м/год. Для тех же 47 точек та же величина, полученная по материалам АФС 1967 и 1969 гг., составила 2,1 м, что дает также около -1,0 м/год. Это сравнение подтверждает отсутствие грубых ошибок в результатах обработки АФС.

Изменения конуса выноса, имеющего классическую форму (см. рис. 2), были определены тем же методом горизонтальной сетки, но с другим размером квадратов (80×80 м), за те же интервалы, что и для оврагов (табл. 3).

Рассматриваемый конус выноса наложен на вторую террасу р. Сурхоб, с превышением над руслом реки 18 м, сложенную валунно-галечниковым аллювием. Практически весь обломочный материал, выносимый из оврагов, остается в его пределах, поскольку конус удален от русла Сурхоба. В то же время на значительной части долины аналогичные по типу овраги поставляют материал непосредственно в русло или на ее

полюму, определяя те рекордные цифры твердого стока, о которых говорилось выше. Не исключено, что в катастрофические периоды некоторая часть материала выносится с рассматриваемого конуса в реку. Если не принимать во внимание возможных ошибок измерений, то именно этим можно объяснить для периода 1967—1969 гг. общий дефицит материала в 376 тыс. m^3 ($B_{o_{№1}} + B_{o_{№2}} + B_k$), что в переводе на средний слой для всей площади объекта 758 тыс. m^2 ($S_{o_{№1}} + S_{o_{№2}} + S_k$) дает $-0,5$ м или $-0,25$ м/год.

Если в целом за 20 лет поверхность конуса выноса всюду повысилась, то за 1967—1969 гг. на конусе произошли более сложные преобразования: аккумуляция развивалась в основном по периферии конуса, а в его привершинной части поверхность незначительно понизилась за счет местного смыва. Наряду с накоплением осадков конуса за 20-летний интервал отмечается и некоторое расширение его площади, главным образом близ его вершины. Приращение площади конуса за 20-летний период составило 3 тыс. m^2 : с 364 тыс. m^2 в 1949 г. до 367 тыс. m^2 в 1967 г. В пределах конуса оказались погребенными заложенные здесь в 1957 г. при создании Гармского полигона (Энтин, Мещерский, 1963) отдельные геодезические знаки: к 1966 г. — грунтовый репер 2431, а весной 1969 г. — грунтовый репер 3184.

За весь период объем аккумуляировавшегося на конусе материала составил 1615 тыс. m^3 , что на 342 тыс. m^3 превышает объем материала, вынесенного за это время из обоих оврагов (1273 тыс. m^3). Этот излишек может быть объяснен тем, что не учитывалось разрыхление аккумуляированной породы, снос из мелких овражков, обрамляющих конус выноса, и верхних отрогов исследуемых оврагов, а также и возможные ошибки стереофотограмметрических измерений.

Вопрос об ошибках измерений, о достоверности и точности полученных показателей нуждается в особом обсуждении. Совместный анализ изменений в обеих зонах — денудации и аккумуляции — не только целесообразен с научной точки зрения, но и позволяет проконтролировать результаты независимых определений объемов сноса и накопления материала по балансовому показателю.

В данной работе объемы (или их изменения) определялись по формуле $V = \overline{\Delta H} S$, где $\overline{\Delta H} = (\sum \Delta H) / n$ — есть среднеарифметическое изменение высоты поверхности (в данном случае — средняя толщина слоя аккумуляции, денудации или их алгебраической суммы), полученное на площади S по n точкам сетки⁴. Нетрудно доказать, что главным источником ошибки объема m_v будет являться ошибка $m_{\overline{\Delta H}}$, т. е. $m_v \approx m_{\overline{\Delta H}} S$ (Цветков, 1969). Ошибка $m_{\overline{\Delta H}}$ складывается из ошибок осреднения и ошибок исходных данных. Ошибку осреднения можно свести к минимуму путем соответствующего выбора числа n (густоты детальной сетки). Существенное значение имеет систематическая ошибка исходных данных, размеры которой определяются параметрами съемки, условиями обработки и характером рельефа местности (Благоволин, Цветков, 1971).

Нами были проведены специальные исследования по оценке точности совмещения одновременных съемок. По результатам многократного повторного ориентирования моделей на стереоприборах и обхода опорных точек, зафиксированных на топопланах, было установлено, что в среднем для всей площади обработки ошибка исходных данных (т. е. стереофотограмметрического определения ΔH_i) составляет $\pm 0,6 \div 0,7$ м

⁴ Существуют различные формулы определения объемов (см., например, Книжников и др., 1974). Мы отдаем предпочтение именно этому способу, как наиболее простому и непосредственно основанному на данных поля ΔH , которое само по себе имеет чрезвычайно важное значение при изучении закономерностей изменения рельефа местности в результате проявления экзогенных процессов.

для планов, составленных по АФС, и $\pm 0,3 \div 0,4$ м для планов, составленных по НСС. Отсюда следует, что с учетом ошибки осреднения средняя квадратическая ошибка объемов, приведенных в табл. 2 и 3, будет определяться выражением $m_v \approx \pm (0,7 \div 0,8 \text{ м}) S$. Таким образом, анализируемый выше излишек в 342 тыс. м³, приходящийся на площадь 758 тыс. м², в 2 раза меньше возможной ошибки, и поэтому физическое осмысливание этого излишка в данном случае бесполезно.

Случайные ошибки разности высот $m_{\Delta H}$ в отдельных точках сетки достигли $\pm 3 \div 5$ м на наиболее крутых участках исследованных склонов, составив в среднем для всей площади обработки $\pm 1,5 \div 2$ м. Это обстоятельство, в частности, необходимо учитывать при оценке надежности планового положения изолиний $\Delta H = 0$ — границ между зонами денудации и аккумуляции.

Итак, высотная точность сопоставляемых материалов стереофотограмметрической обработки является определяющей с точки зрения выбора параметров и вида съемки применительно к конкретным объектам и задачам изучения экзогенных процессов, а также интервала времени между повторными съемками. В отношении последнего заметим, что при пересчете $\overline{\Delta H}$ (или V), полученного за интервал времени Δt , на среднегодовую скорость ошибка $m_{\overline{\Delta H}}$ (или соответственно m_v) уменьшается в Δt раз. Так, например, если за 1949—1969 гг. средняя толщина снежного слоя со склонов оврага № 1 составила $-7,5 \pm 1,0$ м, то среднегодовая скорость денудации на протяжении этого времени была равна $-0,38 \pm 0,05$ м; для зоны же аккумуляции оврага № 2 величина $\overline{\Delta H} = 1,0$ м, полученная за 1967—1969 гг., сопоставима с ошибкой ее определения и, следовательно, не может считаться надежной.

Выполненные исследования позволяют сделать ряд выводов как методического, так и регионального значения.

1. Повторная крупномасштабная (около 1 : 15 000) АФС с успехом может быть использована для получения количественных показателей проявления экзогенных процессов в горных районах. Однако уверенные данные об объемах вынесенного и аккумулярованного материала, темпах роста оврагов и т. п. будут получены в том случае, если сами изменения существенно больше ошибок их определения; исследованиями установлено, что по данным АФС масштаба 1 : 15 000 средняя толщина слоя денудации (или аккумуляции) определяется с ошибкой $m_{\overline{\Delta H}} = \pm 0,7 \div 0,8$ м при достаточном числе точек i .

2. По сравнению с НСС, позволяющей вести более высокоточные измерения, АФС более эффективна с точки зрения охвата территории исследований. НСС целесообразна для изучения денудационно-эрозионных процессов отдельных участков крутых склонов и может быть использована для геодезического обоснования материалов АФС как специально проектируемых, так и уже имеющихся.

3. На основе балансового метода определения овражной денудации и аккумуляции установлено, что данный район характеризуется исключительно высокими скоростями проявления экзогенных процессов. На протяжении 1949—1969 гг. из двух рассмотренных оврагов в среднем за год выносилось около 60—80 тыс. м³ породы, что дает понижение склонов на 0,15—0,22 м/год. За 20 лет высоты в отдельных точках склонов оврагов понизились на 15—20 м.

4. В общих чертах выявлен механизм изменений оврагов и конуса выноса; эти изменения происходят скачкообразно, особенно усиливаясь в периоды метеорологических аномалий (типа 1968/69 г.).

5. Полученные данные о скоростях роста оврагов в приразломной зоне подтверждает ранее высказанное только по геоморфологическим признакам представление о большой молодости этих форм и их тектонической обусловленности.

6. Величины среднего слоя денудации и аккумуляции на склонах оврагов позволяют предположить большой удельный вес оврагообразования в процессе тотальной денудации региона.

7. Количественные данные дают возможность прогнозировать ход развития овражных форм во времени, что весьма существенно для организации землепользования в условиях горной местности.

ЛИТЕРАТУРА

- Благоволиц Н. С., Цветков Д. Г.* Опыт применения повторной наземной фотограмметрической съемки для изучения динамики рельефа. «Геоморфология», № 1, 1971.
- Гельман Р. Н., Книжников Ю. Ф.* Применение перспективной аэрофотосъемки для крупномасштабного картографирования и при геолого-географических исследованиях. «Геодезия и картография», № 3, 1975.
- Гобеджидзе Р. Г.* Изучение гравитационных процессов в Западной Грузии методом повторной фототеодолитной съемки. «Геоморфология», № 4, 1973.
- Губин И. Е.* О требованиях строителей и новом сейсмическом районировании территории СССР. В сб. «Поиски предвестников землетрясений по прогностическим полигонам». М., «Наука», 1974.
- Иверонова М. И.* Опыт количественного анализа процессов современной денудации. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 2, 1969.
- Книжников Ю. Ф.* Принципы фототеодолитной съемки при изучении склоновых процессов. «Вестн. МГУ. География», № 5, 1970.
- Книжников Ю. Ф., Румянцев Д. Г., Шевченко Б. Ф.* Опыт применения фотограмметрического метода для изучения процесса оврагообразования на моделях. «Геодезия и картография», № 2, 1974.
- Конопальцев И. М.* Современные горизонтальные движения земной поверхности на Гармском полигоне. «Геотектоника», № 5, 1971.
- Ранцман Е. Я.* Геоморфология и сейсмичность долины р. Сурхоб. «Докл. АН СССР», т. 124, № 1, 1959.
- Финько Е. А.* Некоторые закономерности проявления современных вертикальных движений земной коры в Таджикистане, В сб. «Изучение современных движений земной коры на стационарных геодинамических полигонах», Ашхабад, 1970.
- Финько Е. А., Энман В. Б.* Современные движения земной поверхности в зоне Сурхобского разлома. «Геотектоника», № 5, 1971.
- Цветков Д. Г.* Определение изменения объема горных ледников по материалам стереофотограмметрических съемок. В сб. «Материалы гляциол. исслед. (МГГ). Хроника, обсуждения», вып. 15. М., 1969.
- Шульц В. Г.* Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, 1963.
- Энтин И. И., Мецкерский И. Н.* Определение вертикальных смещений земной коры в долине р. Сурхоб. «Тр. ЦНИИГАиК», вып. 154. М., 1963.

Институт географии
АН СССР

Поступила в редакцию
12.VI.1975

STUDIES OF SOME EXOGENOUS PROCESSES AT A MOUNTAIN AREA OF TADZHIKISTAN USING AERIAL PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUE

E. A. FINKO, D. G. TSVETKOV

Summary

Stereophotogrammetric processing of aerial photographs taken at different times has been used for quantitative studies of gullies dynamics at a seismic mountain area of Tadzhikistan. The study's objects were two gullies of $4 \cdot 10^5$ sq. m area and to 150 m depth, having common fan. For 20 years mean thickness of layer washed from the gully slopes appeared to be 7 ± 1 m, the gullies' area increased for 65 000 sq. m. Irregularity in the denudation rate through time has been established; for two years of study including an anomalous meteorological period the values were 4 ± 1 m and 20 000 sq. m respectively. The analysis of the stereophotogrammetric measurements accuracy (using surface stereophotogrammetry) has revealed that the aerial photographs scale 1 : 10 000—1 : 20 000 can be effectively used for estimation of gully erosion within tectonic active mountain region.