

9. Дедков А. П., Мозжерин В. И., Ступишин А. В., Трофимов А. М. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1977, с. 233.
10. Дедков А. П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1970, с. 255.
11. Николаев В. А. Аридно-денудационные склоны полупустынного Тургая. Вестн. МГУ, География, 1966, № 4, с. 72.
12. Илларионов А. Г. Некоторые новые данные о происхождении столовых равнин Тургайского прогиба. Казань: Тр. Казанск. ун-та, Геогр. сб., 1966, № 1, с. 60.
13. Илларионов А. Г. Происхождение и возраст рельефа Тургайского прогиба. Автореф. канд. дис. Казань: Казанск. ун-т, 1972, с. 30.
14. Кайе А. Плоскостной сток и выравнивание. В сб.: Вопросы климатической и структурной геоморфологии. М.: Изд-во иностр. лит., 1959, с. 83.
15. Кинг Л. С. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967, с. 559.
16. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975, с. 341.
17. Козлова А. Е. Количественная оценка процессов плоскостного смыва в аридной зоне Тургайского прогиба (на примере плато Кизильтау). Геоморфология, 1977, № 2, с. 70.
18. Доскач А. Г. К вопросу о некоторых формах рельефа пустынной степи. В сб.: Структурная и климатическая геоморфология. М.: Наука, 1966, с. 132.
19. Аристархова Л. Б., Федорович Б. А. Склоновые процессы в пустынях и полупустынях. В сб.: Склоны, их развитие и методы изучения. М.: Мысль, 1971, с. 25.
20. Равский Э. И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. М.: Наука, 1972, с. 335.
21. История развития растительности внеледниковой зоны Западно-Сибирской низменности в позднелиценное и четвертичное время. Новосибирск: Наука, Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР, 1970, вып. 92, с. 270.

Удмуртский государственный университет

Поступила в редакцию
30.1.1980

CLIMATIC ASPECTS OF FORMATION AND EVOLUTION OF STEPPED STRUCTURAL PLAINS OF THE ARAL-TOBOL INTERFLUVIAL AREA

ILLARIONOV A. G.

Summary

The climate is considered to be a main factor controlling type of morphogenesis, the latter being characterized by a certain «spectrum» of exogenous processes and resulted landforms. «Stepped» structure of the structural plains was formed during the Quaternary under condition of cyclic changes of climate which resulted in repeated changes of climatic-landscape zones and morphogenesis' types. Stepped structure is associated (in time and space) with semiarid morphogenesis, the main manifestation of the latter being an active planation process of the pediplanation type.

УДК 551.435.24

ЛИТВИН Л. Ф.

ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МИКРОРУСЛАХ НА СКЛОНАХ

Интенсивное развитие ирригации сопровождается вовлечением в сферу поливного земледелия значительных территорий, где поля располагаются на склонах. Поливные воды производят деформацию склонов, что в конечном счете приводит к своеобразному изменению мезорельефа. Потоки в поливных бороздах, характерной чертой гидравлики которых является убыль расходов воды вниз по течению, можно рассматривать как аналоги некоторых видов склоновых потоков, таких, например, как потоки талой воды ниже зоны фуркации, потоки талой воды из снежников, а

также потоки в бесприточных склоновых оврагах. Русла последних значительно отличаются по своим размерам, однако многие важнейшие их морфологические черты, в частности наличие вертикальных уступов в тальвегах, оказались чрезвычайно сходными.

Эрозионной экспедицией МГУ было проведено полевое моделирование бороздкового полива в Джизакской степи Узбекистана. На склонах, сложенных лёссовидными суглинками, на которых развиты среднесуглинистые сероземные почвы, проводились прямолинейные борозды со строго выдержанными уклонами (0,01, 0,02, 0,04 и 0,06). Через специально сконструированный регулятор в верхнюю головную часть борозд подавалась вода, расходы которой составляли 0,1, 0,2 и 0,3 л/сек. Выполнены две серии опытов, в которых были испытаны все возможные сочетания указанных выше значений уклонов и расходов, причем каждый вариант — на новой борозде.

Начиная от головы борозды через каждые 20 м располагались мерные створы, где ежедневно с помощью отводящего лотка¹ измерялись объемным способом расходы воды, а также отбирались пробы взвешенных и донных наносов. Проводились контрольные измерения мутности подаваемой в борозду поливной воды. Фиксировалось образование и ежедневно определялась скорость перемещения вертикальных уступов дна, в результате которого в бороздах возникали глубокие водороины с отвесными стенками. После окончания опыта проводились повторная нивелировка борозды и обмеры водороин. В некоторых вариантах по створам регулярно измерялась площадь живого сечения, пуском краски определялись средние скорости в потоке, до и после опытов строились поперечные профили борозды и русла.

Расходы воды в экспериментальных бороздах закономерно изменялись во времени и по их длине. В первые 1,5—2,5 часа после добегания воды до створа они быстро возрастали, а затем стабилизировались и оставались постоянными в течение всего опыта. Благодаря высокой водопроницаемости типичных сероземов (приблизительно 1,0 мм/мин в первой серии опытов и 0,5 мм/мин во второй) расходы воды заметно убывали вниз по течению пропорционально расстоянию, что приближенно можно выразить следующей формулой:

$$q_l = Kq_n - bl,$$

где q_n и q_l — расходы воды (л/сек) в начале борозды и на расстоянии l (м). Здесь коэффициентом K учитывается повышенное впитывание в головной части борозды благодаря ее сильному размыву и, возможно, меньшей мутности воды. Среднее значение K в первой серии опытов составляло 0,87, а во второй 0,94. Величина коэффициента b , представляющего собой удельную водопроницаемость (л/сек на погонный метр русла), составляет в среднем для первой серии $1,1 \cdot 10^{-3}$, а для второй — $7,3 \cdot 10^{-4}$. Смыв почвы в верховьях потоков наблюдался при всех сочетаниях расходов и уклонов, чему способствовала структура почвы, в механическом составе которой преобладает фракция крупной пыли.

Анализ динамики расходов наносов и объемов транспортируемого материала показывает закономерное чередование зон эрозии, транзита и аккумуляции вниз по течению (табл. 1). Подобные закономерности обосновывались теоретически как при ирригационной эрозии, так и для природных склоновых потоков [1, 2, 3].

Протяженность зоны эрозии зависит прежде всего от величины расходов воды и уклонов, а также водопроницаемости почв, определяющей изменение водности потока по длине русла. В общем случае должна сказываться и противоэрозионная стойкость почв. В условиях опытов мак-

¹ Регулятор расходов и отводящий лоток сконструированы С. Ф. Красновым и Г. А. Ларионовым.

Распределение средних расходов наносов по длине потока в зависимости от начальных расходов воды и уклона, г/сек

№ серий опы- тов	Расходы воды	0,1 л/сек			0,2 л/сек				0,3 л/сек			
	уклон	0,02	0,04	0,06	0,01	0,02	0,04	0,06	0,01	0,02	0,04	0,06
	№ створа											
1	I	0,116	0,217	1,052	—	0,740	2,163	0,360	0,523	1,232	4,661	—
	II	0,016	0,152	0,729	—	0,612	2,233	3,501	0,229	1,483	5,928	—
	III	0,003	0,028	0,438	—	0,380	1,528	3,698	0,156	1,322	5,487	—
	IV	—	—	0,132	—	0,177	1,658	3,014	0,100	0,537	4,383	—
	V	—	—	—	—	0,042	1,234	—	0,099	0,523	3,586	—
2	I	0,100	0,592	0,966	0,052	0,481	2,800	4,159	0,396	1,255	6,759	3,982
	II	0,066	0,828	1,881	0,205	0,829	4,854	7,403	0,219	1,775	8,288	8,458
	III	0,032	0,791	1,352	0,235	0,557	6,827	6,400	0,061	2,916	6,903	12,328
	IV	—	0,612	0,777	0,105	0,204	6,763	7,192	0,099	2,195	9,937	9,706
	V	—	0,247	0,126	0,019	0,110	6,592	7,231	0,077	1,800	7,261	10,780

Примечание. В первой серии опытов расстояние между промерными створами в руслах с уклоном 0,06 составляло 15 м.

симальная длина зоны эрозии была несколько больше 60 м, не превышая в большинстве случаев 20 м в первой серии и 40 м во второй. Протяженность транзитной зоны иногда определить трудно, что, вероятно, связано с ее малой длиной, и потому приходится говорить о транзитно-аккумулятивной зоне.

В начальный период стока по бороздам происходит активное формирование в них микрорусел. В этом процессе можно выделить несколько стадий. На первой стадии в головной части борозды начинается смыв самых мелких неагрегированных частиц, а также частиц, высвобождающихся при разрушении в воде крупных комочков почвы. Наносы перемещаются как во взвешенном, так и во влекомом состоянии, но влечение частиц медленное, в малых объемах и на короткое расстояние.

Во второй стадии разрушаются почвенные агрегаты по всей борозде, в результате чего на дне образуются неровности — беспорядочно расположенные впадины и выступы, сглаженные текущей водой. Одновременно ниже размываемого участка и частично в его пределах происходит отложение наносов с образованием своеобразных «побочней» и «перекастов». Русло начинает меандрировать, и поток размывает береговые откосы.

В третьей стадии происходят коренные преобразования рельефа микрорусла. По тальвегу образуются водопады, высота которых, как правило, превышает глубину потока. Уступы водопадов, сохраняя форму, перемещаются вверх по течению, оставляя за собой глубокую водоросну — «микроовраг». Темпы эрозии на гребнях уступов во много раз больше, чем в гладком русле. Резко меняются гидравлические характеристики потоков. При больших уклонах и начальных расходах воды смена стадий происходит очень быстро. В некоторых опытах уступы появились уже через 10—15 мин после пуска воды. При малых уклонах и расходах воды процесс перестроения в течение ряда часов задерживается на первой стадии.

Для аккумулятивной зоны характерно заиливание русла — образование на его поверхности плотной корочки из тонких илистых частиц. При образовании наилка резко снижается шероховатость русла. Несмотря на заиливание, поток продолжает перемещать здесь донные наносы, среди которых можно видеть агрегированные частицы почвы. Заиливание русла повышает его сопротивляемость размыву на 50% и более [4].

**Динамика средней скорости потока, мутности воды и расхода наносов в микрорусле
(начальный расход воды 0,3 л/сек; уклон 0,04)**

№ наблюдений	Скорость течения и показатели твердого стока	Расстояние от головного створа, м					
		2,5	20	40	60	80	100
1	Скорость, м/сек	0,30	0,48	0,40	0,45	0,46	0,48
	Мутность, г/л	—	9,60	21,46	21,58	18,80	16,20
	Расход наносов, г/сек	—	2,30	4,71	4,32	3,48	2,75
2	Скорость, м/сек	0,30	0,41	0,42	0,46	0,49	0,50
	Мутность, г/л	—	6,52	15,36	16,54	16,50	15,00
	Расход наносов, г/сек	—	1,56	3,23	3,47	3,06	2,47
3	Скорость, м/сек	0,31	0,42	0,39	0,40	0,50	0,50
	Мутность, г/л	—	7,46	15,20	13,70	9,92	16,80
	Расход наносов, г/сек	—	1,94	3,49	3,01	2,08	3,19

Средние скорости потока в транзитно-аккумулятивной зоне могут быть равными скорости в зоне эрозии и даже превышать ее. Тем не менее, как показывают данные табл. 2, мутность воды в транзитно-аккумулятивной зоне не увеличивается, а расходы наносов снижаются. Средние скорости потока определялись с помощью красителя вместе с отбором проб в последние 3 часа опытов.

Общая интенсивность смыва, как правило, со временем падает. Мутность воды снижается иногда на один-два порядка, а следовательно, убывают и расходы наносов. Аналогичный характер и близкие темпы уменьшения мутности получены И. И. Зусиной [5] при поливе в производственных условиях со сходными начальными параметрами. Однако, стройность картины изменения мутности по длине склона и во времени часто нарушается асинхронностью образования и развития микрооврагов. Уменьшение интенсивности во времени объясняется увеличением противозерозионной стойкости почв на головном участке русла, возможно, за счет роста водопрочности агрегатов при увлажнении, а также прогрессирующим заиливанием борозды с образованием плотной корочки наилака на нижележащем участке. Таким образом, спустя некоторое время завершается период активного формирования русла.

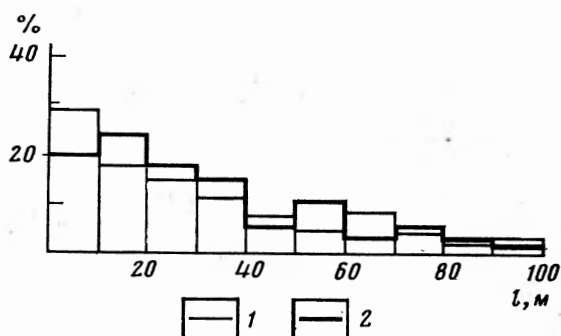
Как отмечалось выше, в руслах склоновых потоков образуются водопады и пороги, регрессивно перемещающиеся по руслу. Они были отмечены при ирригационной, ливневой эрозии и при смыве стоком талых вод [6].

В условиях эксперимента при смыве типичных сероземов с невысокой противозерозионной устойчивостью уступы в руслах возникали и перемещались почти во всех опытах, кроме вариантов с расходами, меньшими 0,3 л/сек, и уклоне 0,01. Обычно, в русле было несколько уступов, иногда до 17. В среднем высота уступа 3—5 см, но встречались и уступы в 8—10 см. Глубины водороев — микрооврагов составляли в среднем 5—7 см (максимальные 12), а наибольшая дальность продвижения вершины по руслу за 7—8 часов 11 м. Первые уступы появлялись иногда уже через 10—15 мин после начала опыта, а другие через несколько часов.

Непосредственную причину образования уступа в том или ином месте русла установить не удавалось. Ложа ручейков располагались в пахотном горизонте, довольно однородном по физическим свойствам, хотя местные изменения плотности и структуры, очевидно, были. В целом распределение уступов по длине потоков подчиняется вполне определенной закономерности (рисунок). Как и следовало ожидать, наибольшее количество уступов расположено в зоне эрозии, но часть из них — в транзитно-аккумулятивной зоне. Когда уступ находится на заиленном участке

русла, корочка наилка бронирует верхнюю часть уступа и скорость его движения определяется скоростью разрушения наилка. Высота уступов в этом случае часто даже увеличивается. Количество уступов в отдельных руслах также зависит от интенсивности эрозии, но связь между ними недостаточно четкая.

Уступы в руслах с большими расходами воды и уклонами движутся быстрее, однако, предсказать скорость перемещения конкретного уступа трудно. Некоторые из них за 7—8 часов опыта передвигались лишь на несколько сантиметров. Скорость движения других достигала 1,5 м/час. В большинстве случаев наблюдалось замедление роста водоросей со временем. Многие уступы стабилизировались, а иногда и сглаживались, превращаясь в крутой порог. На гребне уступа и у его подножия происходит наиболее интенсивный размыв почвы и многократное увеличение мутности потока. Сопоставление выноса почвы водорослями, образованными при движении уступов, с общим весом смытой почвы, вынесенной потоком за пределы склона, показывает большую значимость эрозии на уступах.



Распределение вертикальных уступов тальвегов по руслу
(в % к общему количеству)

1 — первая серия опытов, 2 — вторая серия опытов

При интенсивном смыве среднесуглинистых типичных сероземов объемы почв, перемещенные на уступах, примерно равны объемам общего выноса, тогда как при меньшем общем выносе объемы водоросей могут превышать его в несколько раз. Последнее обстоятельство, вероятно, объясняется относительным увеличением зоны транзита и аккумуляции и увеличением доли аккумулярованных наносов. Сопоставление с выносом из зоны эрозии в этих случаях дает более верную картину.

Работой стока значительно трансформировались продольные профили тальвегов потоков. В зоне преобладающей эрозии снижение уклонов на головном участке (в руслах с начальными уклонами 0,04—0,06) достигало 30% за несколько часов. При многократном повторении стока склон должен выполаживаться, а в некоторых случаях приобретать выпуклую форму. Подобные преобразования склонов при орошении по бороздам весьма интенсивны [7].

Результаты проведенных полевых экспериментов по моделированию эрозионно-аккумулятивных процессов в руслах склоновых струйчатых потоков во многом перекликаются с результатами качественных наблюдений за работой достаточно разнообразных по генезису и размерам природных потоков на склонах. Это позволяет сделать некоторые более общие выводы.

1. Непосредственными измерениями расходов наносов установлена закономерная смена вниз по течению зон эрозии, транспорта и аккумуляции в пределах однородного по крутизне склона, что свидетельствует

о возможности формирования покрова делювиальных отложений на большей части склона, а не только у его подошвы.

2. Для всех интенсивно эродирующих грунт склоновых потоков, начиная от микроручьев и до крупных потоков в оврагах, характерно образование и регрессивное перемещение вертикальных уступов в тальвеге. Образование таких уступов в общем случае не связано с неоднородностью грунта, а интенсивность их развития пропорциональна эродирующей способности потока.

3. Объем врезов, образующихся при перемещении уступов в струйчатых потоках, часто соизмерим с общим объемом смыва в русле. В связи с этим методы количественной оценки склонового смыва, претендующие на генетический подход, должны непременно оценивать эрозионную работу на уступах и их распределение по длине потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Караушев А. В. Общие и некоторые частные вопросы теории русловых процессов и склоновой эрозии. Тр. ГГИ, вып. 191. Л., 1972, с. 5.
2. Маркочева К. М. Полевые исследования наносов на орошаемых землях. Тр. ГГИ, вып. 156. Л.: Гидрометеиздат, 1968, с. 124.
3. Маркочева К. М. Формирование смыва с распаханых участков склонов. Тр. ГГИ, вып. 191. Л.: Гидрометеиздат, 1972, с. 53.
4. Макавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955, 345 с.
5. Зусина И. И. Ирригационная эрозия на типичных сероземах и почвоохранная техника полива. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. сельхоз. наук. Ташкент, НИИПА МСХ УзССР, 1976, с. 23.
6. Лидов В. П., Зорина Е. Ф., Орлова В. К. Морфология ручейков талой воды на склонах и определение концентрации переносимых ими наносов.— В кн. Эрозия почв и русловые процессы, вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 1974, с. 43.
7. Краснов С. Ф., Литвин Л. Ф. Ирригационная эрозия как фактор рельефообразования.— В кн.: Климат, рельеф и деятельность человека, ч. II. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1978, с. 72.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
8.VI.1979

SLOPE EROSION AND AGGRADATION

LITVIN L. F.

Summary

Studies of zones of erosion, transport and aggradation in slope rills (micro-channels) and field experiments confirmed the possibility of deluvial slope apron formation at most part of slope under conditions of constant slope angle but decrease in water discharge downslope. Most important feature of the channel erosion on slopes (no matter what are the channel's parameters) is formation and movement of vertical scarps at the floor. The phenomenon should be taken into consideration when methods of slope wash estimation are worked out.

УДК 551.435.11 (470.63)

ЛУКИНА Н. В.

О ВОЗРАСТЕ РЕЧНЫХ ТЕРРАС ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Долины рек Центрального Предкавказья, Кумы и Подкумка, с прекрасно развитой серией террас издавна привлекали внимание геологов и геоморфологов. Однако нельзя считать, что в настоящее время вопрос о