

## НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

УДК 551.4.024

В. И. СТУРМАН

ИЗУЧЕНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛАБОРАТОРИИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ ЛУВЕНСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА (БЕЛЬГИЯ)

Лаборатория экспериментальной геоморфологии Лувенского католического университета является одним из ведущих центров в этой области. Руководство работами осуществляет проф. Ж. Де Плой; основные сотрудники: Г. Говерс, Д. Госсенс, Ж. Поесен, Г. Раус, Ж. Сават, Д. Торри. Нами проанализировано 45 работ 1976—1989 гг., важнейшие из которых приведены в списке.

В основе принятого в лаборатории методического подхода лежит сочетание полевых и лабораторных экспериментов с математическим моделированием их результатов. По мнению Ж. Де Плая [1], лишь современная геоморфология в противоположность прежней, от Дэвиса до Кинга основанной на дедуктивном подходе, становится подлинно естественной наукой, опирающейся на гипотезы, их экспериментальную проверку и математическую обработку результатов. При этом решающее значение имеют полевые эксперименты, так как именно в них достигается законченность геоморфологических исследований. Лабораторные эксперименты нацелены на создание идеализированных моделей, что служит базой для последующего изучения сложных полевых ситуаций. Исследования ведутся на уровне элементарных микропроцессов (отделение и перенос частиц дождевыми каплями, образование корки на поверхности склона, концентрирующая роль стока по растениям и т. п.).

Наибольшее внимание уделяется определению пороговых значений внешних факторов и внутренней динамики эрозионных процессов, т. е. величин, с которыми связаны резкие изменения в направленности или темпах развития процессов. В обобщающей работе Ж. Де Плая [2] содержится концепция неоднозначности (амбивалентности) влияния многих контролирующих эрозию факторов. Принято считать, например, что лесная растительность или каменистый покров защищают земную поверхность от эрозии, так как поглощают кинетическую энергию дождевых капель, задерживают часть стока и увеличивают инфильтрацию. Между тем, как показали эксперименты, сток по листьям приводит к увеличению диаметра капель с 2 до 6 мм и соответственно кинетической энергии в 8 раз. Для лесов со слабо развитой подстилкой это более чем существенно.

Травянистая растительность способствует увеличению турбулентности поверхностного стока; поэтому ее защитная роль сказывается лишь при превышении некоторой критической плотности, зависящей от уклона поверхности [3]. Подобную роль играет и каменистый покров: при малых уклонах и скоростях потока он защищает поверхности от размыва; при значительных ( $16^\circ$ ) — усиливает турбулентность, способствует образованию бурунов и т. п.

Исследования сотрудников лаборатории нацелены на детальное изучение

верхних звеньев эрозии и сопутствующих ей процессов. Основные результаты кратко таковы.

**Капельная эрозия и транспорт наносов разбрызгиванием.** Экспериментально установлено, что 1 мм выпавших дождей соответствует кинетическая энергия: в Бельгии — 12,5 Дж/м<sup>2</sup>; в Марокко — 16,5; на о-ве Ява — 25,8; в Нигерии — 33,0 Дж/м<sup>2</sup> [4]. Это позволяет оценить годовой энергетический потенциал капельной эрозии. При вертикальном выпадении дождя и горизонтальной поверхности перемещения частиц в разных направлениях взаимно уравновешиваются. При несоблюдении этих условий одно из направлений становится преобладающим.

Для обнаженных склонов количество материала, перемещенного вниз (в м<sup>3</sup>/м), определяется формулой

$$qs = \frac{KE \cdot \cos(\alpha \pm \beta)}{R \cdot BD} [0,301 \sin(\alpha \pm \beta) + 0,019(D_{50})^{-0,220} (1 - e^{-2,42 \sin(\alpha \pm \beta)})],$$

где  $qs$  — объем перемещенного вниз материала, м<sup>3</sup>/г·год;  $KE$  — кинетическая энергия осадков, Дж/м<sup>2</sup>·год;  $R$  — сопротивление отделению частиц, Дж/кг;  $BD$  — объемный вес, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  — угол наклона поверхности;  $\beta$  — угол падения дождевых капель (плюс или минус в зависимости от совпадения или несовпадения направления наклона);  $D_{50}$  — медианный диаметр частиц [5].

Сопротивление частиц отделению капельной эрозией минимально при медианном диаметре 0,125 мм. При уменьшении диаметра сопротивление возрастает медленно; при укрупнении — значительно быстрее [4, 5].

Капельная эрозия и транспорт разбрызгиванием носят селективный характер. Размеры частиц, подверженных выносу или относительному накоплению на месте, определяются литологическими и морфологическими особенностями, а также режимом выпадения осадков и стока [6]. Наиболее подвержены капельной эрозии тонкие, хорошо сортированные пески с медианным диаметром 0,096 мм. На более мелких осадках развивается поверхностное уплотнение; более крупные формируют «эрозионную мостовую» из остающихся на месте крупных частиц. Вследствие этого капельная эрозия является самозатухающим процессом [7].

Дальность брызгового переноса для лёссовых частиц достигает 10—30 см [8]. Частицы диаметром 10—20 мм перемещаются не прыжками, а латерально под воздействием дождевых капель — «капельный крип» (точнее было бы — брызговой) [9].

**Поверхностное уплотнение грунтов.** Воздействие дождевых капель ведет к уплотнению поверхностного слоя и усилению сцепления частиц. Глинистые и илестые частицы мигрируют в грунт на глубину до нескольких мм и формируют там «фильтрационную мостовую». Удары дождевых капель способствуют разжижению грунта вследствие повышения давления поровой воды. Все это замедляет инфильтрацию [10]. Поверхностному уплотнению и кольматации в наибольшей степени подвержены грунты с содержанием песка 80—95% и глины либо ила 5—20% [11]. Плотность поверхностного слоя (до 10 см) песчано-суглинистых грунтов увеличивается по мере выпадения осадков и стабилизируется после выпадения 300 мм. На участках с повышенным содержанием глинистых частиц уплотнение развивается медленнее. Наклон поверхности также не благоприятствует уплотнению [12]. При косых дождях в ветровой тени поверхностное уплотнение не получает развития [11].

Поверхностное уплотнение и формирование «фильтрационной мостовой» неоднозначно влияют на водно-эрозионные процессы, так как увеличивается и сток, и сопротивление смыву. В лабораторных экспериментах с песчаными осадками установлено, что на грунтах с гидравлической водопродностью от 120 до 800 мм/ч порог стока составляет от 30 до 120 мм/ч. Таким образом, вследствие заполнения пор, разжижения грунта и образования «фильтрацион-

ной мостовой» поглощающая способность реализуется лишь на  $1/5$ — $1/6$  своего потенциала [5].

Как показал полевой эксперимент на базе Хулденберг (см. ниже), на участках с разрыхленной поверхностью капельная эрозия в 3—4 раза интенсивнее, чем там, где имело место поверхностное уплотнение. Выравнивание происходит после выпадения 200 мм осадков. Смыв материала также интенсивнее на разрыхленной поверхности, причем по ходу опыта соотношения подвержены большим изменениям. При выпадении первых 20—40 мм смыв выше на уплотненной поверхности, что объясняется меньшей инфильтрацией. Затем происходит смена соотношения на обратное, и смыв с разрыхленной поверхности увеличивается значительно сильнее. Разница достигает максимума (9 раз) при 160 мм и после этого стремительно сокращается. Первое отражает уменьшение инфильтрации по мере насыщения грунта водой; второе — выравнивание условий по мере развития поверхностного уплотнения разрыхленного грунта [13].

**Эродируемость и охрана почв.** Эродируемость грунтов испытывает колебания, связанные с погодными условиями, увлажнением, характером и фазой развития растительного покрова и т. д. Устойчивость почв к эрозии находится в прямой связи со стабильностью почвенных агрегатов, особенно крупных (0,5 мм). На стабильность агрегатов положительно влияет содержание органического вещества (особенно в пределах до 2%; при больших величинах рост стабильности замедляется) и глинистых частиц (кроме подверженного набуханию монтмориллонита) [5]. В течение года эродируемость грунтов изменяется более чем на порядок. Максимум имеет место летом, при смене жаркой, сухой погоды ливнями [14]. Для защиты почв рекомендуется как можно дольше сохранять на полях растительные остатки. При этом полного покрытия не требуется, так как риск эрозии заметно снижается уже при 40—50%-ном покрытии. Проведенные совместно с фермерами опыты выявили высокую эффективность безотвальной вспашки: резкое сокращение смыва, сохранение урожайности на уровне среднегодовой, сокращение расходов на обработку почвы [16].

**Плоскостной и микроручейковый смыв.** Как показали полевые и лабораторные эксперименты, критический уклон для начала образования линейных эрозионных форм составляет 2—3%, что соответствует скорости 3,2—3,4 см/с и возникновению турбулентности [17]. Пластовые потоки могут достигать критической скорости в определенном интервале уклонов в зависимости от толщины водной пленки [18].

На плоской поверхности отдельные стадии образования микроручейков не выделяются. На шероховатой поверхности вначале обособляются линии стока, огибающие наиболее выступающие элементы. Перенос наносов концентрируется в пределах линий стока, что способствует уменьшению их шероховатости. На отдельных участках на этой стадии может происходить врезание, но образующиеся зачаточные эрозионные формы неустойчивы во времени и в пространстве вследствие частых изменений рисунка сети стока и заполнения части образовавшихся врезов наносами. Переход к русловому (микроручейковому) стоку можно считать осуществившимся, когда врезание становится достаточным для концентрации стока. С этой стадии микроручейки обособляются от пластового потока и резко увеличивают транспортирующую способность [19].

Межручейковая (плоскостная) эрозия осуществляется тонким, пленочным слоем воды. Значительное влияние на активизацию смыва оказывает воздействие дождевых капель, усиливающее турбулентность. При турбулентном течении эрозия начинается при меньшей скорости, чем при ламинарном, так как скорость отдельных струй и вихрей может превышать неразрывающую [20].

Количественное изучение структуры эрозии выполнено на полевой базе Хулденберг, близ г. Лувен. Она представляет собой участок площадью 0,75 га, расположенный на выпуклом склоне южной экспозиции, крутизной до 14°. С поверхности залегает невыдержанный чехол суглинков мощностью до 5 м,

с линзами гравия в основании. Они подстилаются мелко- и среднезернистыми песками, местами выходящими на поверхность. В период с 15 ноября 1983 по 3 октября 1984 г. участок наблюдения поддерживался свободным от растительности [21]. За это время выпал 721 мм осадков; общий смыв составил 167,0 т.; в том числе на межручейковых пространствах — 36,5 т (21,9%), в микроручейках и промоинах — 130,5 т (78,1%). Межручейковая эрозия подразделяется на поступление материала в ручейки путем разбрызгивания — 2,4 т (6,6%) и перемещение материала пластовыми потоками — 34,1 т (93,4%). Капельный перенос материала в пределах склона не измерялся.

Эрозия в микроручейках и промоинах включает: размыв днищ — 65,8 т (50,9%), размыв вершинных перепадов — 16,7 т (12,8%); размыв бортов — 47,9 т (36,7%). При этом 65% эрозии днищ пришлось на 3 наиболее крупных ливня [22].

Среди других работ лаборатории следует отметить проведенные Д. Госсеном полевые и лабораторные (в аэродинамической трубе) эксперименты по изучению эоловых процессов. Отражением мирового признания работ лаборатории является недавнее избрание ее руководителя — Ж. Де Плоя секретарем Исполкома Международной ассоциации геоморфологов. Не вызывает сомнения, что эти работы представляют значительный интерес для советских геоморфологов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *De Ploey J., Poesen J.* Some reflections on modelling hillslope processes // *Catena supplement*. 1987. № 10. P. 67—72.
2. *De Ploey J.* The ambivalent effects of some factors of erosion // *Met. Inst. geol. Univ. Lovain*. 1981. Т. XXXI. P. 171—181.
3. *De Ploey J., Savat J., Moeyersons J.* The differential impact of some soil less factors on flow runoff creep and rainwash // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1976. V. 1. P. 151—161.
4. *Poesen J.* An improved splash transport model // *Z. Geomorph. Suppl.* 29. 1985. № 2. P. 193—211.
5. *De Ploey J., Poesen J.* Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion // *Geomorphology and soiles London*. 1985. P. 99—120.
6. *Roesen J., Savat J.* Erosion by splash and runoff // *Proceedings Workshop. Assessment of Erosion in USA and Europe (27 February — 3 March 1978)*, Ghent Belgium.
7. *Poesen J.* Rainwash experiments of the erodibility of loose sediments // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1981. V. 6. P. 285—301.
8. *Poesen J., Savat J.* Detachment and transportations of loose sediments by raindrop splash. Pt. II: Detachability and transportability measurements // *Catena*. 1981. № 8. P. 19—41.
9. *Moeyersons J., De Ploey J.* Quantitative data on splash erosion, simulated on unvegetated slopes // *Zeitschr. Geomorph. Suppl.* 25. 1976. P. 120—131.
10. *Poesen J.* Rainwash experiments on the erodibility of loose sediments // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1981. № 6. P. 285—307.
11. *Poesen J.* Surface sealing on sandy and loamy soils: some aspects of seal formation and the influence of sealing on water erosion subprocesses // *Quaderni di scienza del sudo*. 1988. V. 1. P. 9—20.
12. *Govers G., Poesen J.* A field-scale study of the surface sealing and compaction on loam and sandy loams soils. Pt. I. Spatial variability of soil surface sealing and crusting // *Assessment of soil surface sealing and crusting. Proceedings of the Symposium held in Ghent. Belgium, 1985*. P. 171—182.
13. *Poesen J., Govers G.* A field-scale study of surface sealing and compaction on loam and sandy loam soils. Pt II Impact. of soil surface sealing and compaction on water erosion processes // *Assessment of soil surface sealing and crusting. Proceedings of the Symposium held in Ghent. Belgium. 1985*. P. 183—193.
14. *De Ploey J.* Erosional systems and perspectives for erosion control in European loess areas // *Soil technology. Ser. 1*. 1989. P. 93—102.
15. *Govers G.* A regional study of rill patterns in the Flemish loam and sand loam region // *Bull. Soc. Belg. Etudes Georg.— SOBE G.* 1987. 1. P. 75—89.
16. *De Ploey J.* No-tillage experiments in the Central Belgian Loess Belt // *Soil technology*. 1988. V. 1. P. 181—184.
17. *De Ploey J.* Runoff and rill generation on sandy and loamy topsoils // *Z. Geomorph. Suppl.* 1983. № 46. P. 15—23.
18. *Rauws G.* The initiation of rills on plane beds of non-cohesive sediments // *Catena Suppl.* 1987. № 8. P. 107—118.
19. *Rauws G., Govers G.* Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils // *J. soil Science*. 1988. № 39. P. 111—124.

20. *Govers G.* Imitation of motion in overland flow // *Sedimentology* 1987. № 34. P. 1157—1164.
21. *Govers G.* Spaltial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental site // *Catena Supplement*. 1987. № 8. P. 17—34.
22. *Govers G., Poesen J.* Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot // *Geomorphology*. 1988. № 1. P. 343—354.

Удмуртский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
15.VIII.1990

УДК 551.4:574

Д. А. ТИМОФЕЕВ

## ГЕОМОРФОЛОГИЯ ГОРОДОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ

Книга на эту новую для геоморфологии тему написана коллективом английских ученых, активно работающих в последние два десятилетия в сфере как теоретической, так и прикладной геоморфологии. Данное исследование было выполнено в рамках программы «Природные ресурсы» Университета ООН. Монография, написанная в результате этих работ, выдержала два издания (1982 и 1985 гг.)<sup>1</sup>.

Чем интересна эта книга для нас? Прежде всего тематической устремленностью: это первая монография о геоморфологии городов. В нашей стране в последние годы этой тематике также начали уделять внимание, но положительными чертами рецензируемого труда являются, во-первых, стремление проанализировать геоморфологические особенности строительства, жизни и благоустройства городов в связи с другими характеристиками природной среды городов и городских агломераций и, во-вторых, глобальный охват проблем «урбанистической геоморфологии» засушливых областей (к ним отнесены территории крайнеаридные, аридные и семиаридные, т. е. все типы пустынь, полупустыни и степи).

Авторы монографии подчеркивают, что в последние два-три десятилетия геоморфологическая наука все большее внимание уделяет прикладным аспектам. Особенно важны стремления геоморфологов увязать динамические взаимоотношения между формами рельефа, слагающими их породами, современными процессами с решением проблем окружающей среды, с экологическими проблемами. Поскольку и в нашей стране эколого-геоморфологическая проблематика становится одной из ведущих, ознакомление с конкретным опытом исследований, проведенных за рубежом, особенно актуально и интересно.

В книге 7 глав. В первой приведены сведения о современных городах засушливых регионов, дан анализ причин и последствий роста темпов урбанизации в аридных странах. Делается вывод, что необходим контроль за ростом городов в этих странах.

Во второй главе рассказывается о роли геоморфологии в решении проблем урбанизации вообще и аридных территорий в частности. Показаны пути, по которым геоморфологи могут и должны влиять на планирование и обустройство городов. На конкретных примерах, взятых из различных засушливых регионов мира, анализируются взаимосвязи между геоморфологическими проблемами и структурой и жизнедеятельностью городов как старых и даже древней-

<sup>1</sup> *R. U. Cooke, D. Brunsten, J. C. Doornkamp, D. K. C. Jones.* Urban geomorphology in Drylands. Oxford University Press. N. Y., 1982. Repr. 1985. 324 p.