

УДК 551.3

*И.Е. Егоров***КАПЕЛЬНО-ДОЖДЕВАЯ ЭРОЗИЯ – РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ**

Капельно-дождевая эрозия является особым видом водной эрозии, вносящим свой вклад в денудацию земной поверхности. Можно выделить пять основных геоморфологических эффектов, вызванных ударным действием капель дождя: 1) разбрызгивание и перенос частиц грунта по воздуху; 2) проявление капельного крипа, смещение частиц грунта по поверхности под действием ударов капель дождя; 3) разрушение почвенных агрегатов и кольматация поверхности почвы; 4) взмучивание нерусловых склоновых потоков и увеличение их транспортирующей способности; 5) поступление в склоновые потоки дополнительного материала с прилегающих участков при разбрызгивании. Рассмотрены основные факторы капельно-дождевой эрозии и существующие методы изучения этого процесса. Обзор материалов исследований капельно-дождевой эрозии позволяет утверждать, что в отдельных случаях данный процесс по величине денудации сопоставим с другими видами склоновых процессов. В пределах водораздельных пространств и верхних частей склонов в условиях гумидного климата, которые обычно относят к зонам отсутствия эрозии, этот процесс, возможно, является единственным видом денудации.

Ключевые слова: капельно-дождевая эрозия, денудация, деструкция, кольматация, методика исследований.

Воздействие воды начинается на незадернованных поверхностях с ударного действия дождевых капель и рассматривается эрозиоведами как особый вид водной эрозии. Этот процесс рельефообразования все еще недостаточно изучен, хотя опубликованные данные опытов и натуральных наблюдений свидетельствуют, что по объему денудации он вполне сопоставим с другими видами склоновых процессов. Явления, вызванные ударным действием капель дождя, получили название капельно-дождевой эрозии. Результаты исследований этого процесса указывают на его сложность и многофакторность, причем роль отдельных факторов оценивается неоднозначно, а порой прямо противоположно.

Впервые регистрация переноса почвенных частиц под действием ударов дождевых капель была выполнена В. Эллисоном в 1945 г. [1]. В нашей стране повышенный интерес к капельно-дождевой эрозии был связан с применением установок дождевания и усилением эрозии почв вследствие орошения [2]. Существует несколько определений капельно-дождевой эрозии. А. Шайдеггер считает, что это физическое дробление породы, высвобождающее частицы почвы и подготавливающее их к дальнейшему переносу. Состоит из двух процессов: отделение частиц почвы непосредственно при ударе дождевых капель о почву и перемещение этих частиц на небольшие расстояния [3]. Сходную по смыслу формулировку дает Д.А. Тимофеев, отмечая воздействие на субстрат кроме капель дождя также градин [4]. Дж. Моерсонс и де Плой выделяют в качестве самостоятельного процесса также капельный крип – смещение частиц грунта под воздействием ударов дождевых капель, напоминающее явление ползучести [5].

Обобщая полученные разными исследователями данные о процессах, вызванных действием капель дождя, можно отметить, что основными их следствиями являются:

- 1) разбрызгивание частиц грунта по воздуху [6-9];
- 2) капельный крип – смещение частиц грунта по поверхности склона под воздействием удара дождевой капли о частицу грунта [2; 5];
- 3) разрушение структуры расположенных на поверхности почвенных агрегатов, приводящее к появлению уплотненной корки, запечатывающей поверхность почвы (кольматация), что снижает ее водопроницаемость и способствует формированию стока и смыва почв [6; 7; 10];
- 4) взмучивание водного потока, дополнительное волнение, возбуждаемое ударами капель дождя. Оно способствует интенсивному перемешиванию водяной пленки и повышает транспортирующую способность потока [5; 6; 11];
- 5) поступление в склоновые водные потоки дополнительного материала, образующегося при разбрызгивании, с прилегающих участков [1; 5].

Развитие капельно-дождевой эрозии определяется множеством факторов, влияющих на характер и скорость протекания процесса. Во-первых, это особенности выпадения атмосферных осадков – размеры капель дождя, их форма, продолжительность выпадения осадков, воздействие ветра во время дождя. Во-вторых, большое значение имеют особенности субстрата поверхности, которая подвергается

ется воздействию дождя. В-третьих, характер растительности, в особенности проективное покрытие и ее видовой состав. Наконец, немаловажное значение может иметь крутизна склона, хотя этот параметр оценивается неоднозначно.

Среди основных характеристик осадков, влияющих на скорость капельно-дождевой эрозии, исследователи отмечают прежде всего интенсивность дождя и энергию падающих капель, которая зависит от их размера [2; 12; 13]. Средний размер дождевых капель растет по мере увеличения интенсивности осадков для дождей низкой и средней интенсивности, но слегка уменьшается для дождей высокой интенсивности. Между диаметром капель D и конечной их скоростью V , выражаемой в м/с, существует зависимость, представленная в табл. 1 [12]:

Таблица 1

Зависимость скорости капель дождя от их диаметра [12]

D , мм	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
V , м/с	2,1	4,0	6,5	8,1	8,8	9,1	9,2

Конечная скорость капель может быть определена с помощью моментальной фотографии, которая обычно используется при изучении явлений дождя в лабораторных условиях.

Диаметр капель при дожде средней интенсивности обычно составляет 0,5–1,5 мм. С увеличением интенсивности ливня размер капель возрастает, и их диаметр может превосходить 5 мм. В осенних морозящих дождях радиус капель дождя не превышает 0,1–0,2 мм; в спокойных обложных дождях он обычно колеблется от 0,2 до 1,0 мм, а в ливневых и грозовых дождях встречаются капли радиусом до 2–3 мм. Максимальный радиус капель для обложных дождей составляет 1,1 мм, для ливневых – 2,2 мм, для грозовых – 2,7 мм [2; 11]. При интенсивности дождя 50 мм/ч встречаются капли диаметром около 2,5 мм, а при увеличении интенсивности осадков до 100 мм/ч средний диаметр капель может снова уменьшиться [12]. На формирование размера капель сильное влияние оказывает характер растительности. Проведенные наблюдения над условиями формирования микроочаговой эрозии, возникающей при ударах капель под пологом древесно-кустарниковой растительности или однолетних высокостебельных культур, показали, что листья растений образуют микроводосборы, на которые поступают капли дождя, а сбрасываются капли больших размеров. У исследованных растений листовая пластина имела от одного до шести каплеобразующих участков. Капли, преобразованные листьями по размерам и кинематической энергии, существенно отличаются от средних капель ливневых осадков, равных 1,5 мм. У деревьев тяжелые капли имеет дуб, их масса в 13 раз больше средних капель ливневого дождя. У липы она больше в 5 раз, яблони – в 3,5 раза, винограда – в 7 раз. Самая большая масса у капель, падающих с листьев подсолнечника. Она в 19 раз больше средних капель ливневого дождя. У табака и кукурузы она соответственно больше в 8 и 5 раз. С ростом листьев и изменением шероховатости увеличивается диаметр капель, падающих с них. Например, с мая по сентябрь средний диаметр капель, формируемых листьями яблони (сорт Джонотан), увеличился с 2,1 до 3,7 мм, а их кинетическая энергия выросла в 5,4 раза [13].

При расчетах, связанных с оценкой воздействия капель дождя на поверхность почвы, обычно используются данные о скорости их падения в метрах в секунду в условиях штормовой погоды. Ее определение может быть сделано по формулам или данным экспериментальных наблюдений разных авторов. Удовлетворительное совпадение с натурными наблюдениями дает следующая простая формула:

$$V_k = 13\sqrt{d},$$

где d – диаметр капли, см.

Эта зависимость послужила основой для вывода производных формул, отражающих давление капли дождя на почву, силу удара, импульс силы, кинетическую энергию, а также позволила определить среднее расстояние, на котором совершается распад крупных капель в условиях их свободного падения. Вычисления показывают: капли диаметром 0,6 см распадаются при падении с высоты 1840 м, капли диаметром 0,7 см – с высоты 360 м, а капли диаметром 0,8 см – с высоты 67 м. Такие подсчеты показывают, почему в спектре капель естественных осадков мы практически не встречаем капель крупнее 0,6 см [7].

Натурные наблюдения на Украинской опытной станции показали, что средний диаметр дождевых капель большинства дождей (83,7 %) составляет 0,5–1,5 мм. При этом капли диаметром 0,5–1,0 мм

преобладают в 46,9 % всех дождей, капли диаметром 1,0–1,5 мм – 36,8 %. Все дожди состоят из различных по величине капель. Наибольшей однородностью размера капель обладают морозящие дожди, а наименьшей – ливневые [2].

В большинстве случаев дождевые осадки сопровождаются порывами ветра различной силы и переменных направлений. При этом падающие капли отклоняются от вертикального направления и их скорость возрастает. Кинетическая энергия капель дождя под воздействием ветра оказывается значительно более высокой (табл. 2).

Таблица 2

Кинетическая энергия капель дождя с учетом воздействия ветра, Дж [7]

Диаметр капли, см	В условиях штиля	При различной скорости ветра, м/с					
		2	3	4	5	7	9
0,05	14	20	31	45	68	150	320
0,10	440	480	680	850	1100	1600	2600
0,20	7040	7500	8100	9400	10500	14100	18900
0,30	35600	38000	41400	44500	49000	62600	79700
0,40	113000	118000	125000	133000	147000	184000	224000

Пороговое значение диаметра капель дождя, при котором начинается разрушение почвы, составляет 0,8 мм. В целом незначительное разрушение почвы происходит при размере капель до 1,5 мм. Сильные разрушения и разбрызгивание почвы наблюдаются при диаметре капель от 1,5 до 3,0 мм. Осадки с каплями такого размера вызывают образование слабопроницаемой корки на поверхности почв после высыхания. Отмечается, что при одной и той же интенсивности осадков дождь с диаметром капель 2,5 мм вызывает разрушение почвы в 5 раз больше, чем дождь с каплями в 1,4 мм [2]. Диаметр капель еще большего размера вызывает очень сильное разрушение почв. При падении капель их нижняя часть расплющивается, площадь ударного воздействия увеличивается, причем это характерно именно для крупных капель [6].

По-видимому, определенную роль имеет также форма капель. Установлено, что форма крупных капель, возникающих при ливнях значительной интенсивности, как под пологом леса, так и при искусственном дождевании отличается от сферической. При движении из-за влияния турбулентных вихрей в воздухе капля принимает то вытянутую, то уплощенную форму [14]. Это обстоятельство важно учитывать при расчетах воздействия капель на грунт.

При ударе капли о грунт две третьих энергии капли тратится на образование углубления и отделение почвенных частиц, а оставшаяся часть энергии – на разбрызгивание. Разбрызгивающее действие дождевых капель наиболее эффективно, когда поверхность почвы покрыта тонкой пленкой воды, а максимальное диспергирование почвенных частиц происходит, когда толщина водной пленки примерно равна диаметру капли [6; 11].

При ударном воздействии капли и в результате диспергирования почвенных частиц происходит запечатывание поверхности почвы и образование корки. Такая корка обычно состоит из двух частей – очень тонкого (0,1 мм) непористого слоя и зоны толщиной около 5 мм, сложенной вмытыми тонкими частицами [6]. Зона, состоящая из вмытых частиц, плотнее, чем почва, находящаяся ниже. Проницаемость почв, покрытых коркой, очень низкая. Это приводит к образованию луж, которые затем сливаются, и начинается процесс поверхностного стока.

Интенсивность капельно-дождевой эрозии зависит также от характеристик субстрата, в особенности механического состава почв и грунтов. Наиболее быстрая эрозия происходит в начале дождевания за счет удаления микроагрегатов и медленно снижается по мере того, как происходит разрушение более крупных агрегатов и образуется глинистая плотная корка. В общем виде разрушение почвы зависит от устойчивости агрегатов, но при равной устойчивости большое значение имеют почвенные характеристики, определяющие форму и размер частиц, на которые распадутся агрегаты. Почвы с большим содержанием тонкозернистого песка, органического вещества и кальция и малым содержанием илистой фракции, магния и калия обычно подвержены эрозии в большей степени, чем этого можно ожидать по данным анализа устойчивости их агрегатов [10].

Наименьшую сопротивляемость разбрызгиванию оказывают мелкие песчаные частицы. В процесс разбрызгивания вовлекаются преимущественно частицы диаметром меньше 0,3 мм, частицы

песка большего размера довольно устойчивы к эродирующему воздействию потока и ударам капель [6]. Как показали результаты экспериментов, на легких опесчаненных почвах даже при продолжительном дождевании эрозия может развиваться только в форме разбрызгивания, в то время как на агрегированных суглинистых почвах разбрызгивание происходит только в начале дождя и быстро сменяется плоскостным смывом [8]. Поэтому в верхних частях склонов, сложенных песчаными отложениями, накапливаются «остаточные» частицы диаметром больше 0,3 мм, в нижней части концентрируются, наоборот, мелкие песчаные частицы.

Изучение реакции на удар дождевых капель лесных и пахотных почв позволило установить, что в противоположность большинству агрегатов лесной почвы лишь немногие агрегаты пахотной почвы выдерживают испытание на удар капли воды; разная реакция объясняется различием в их составе. Биологическая деятельность в лесных почвах приводит к образованию большого числа первичных агрегатов и корневых тканей, которые повышают сопротивляемость почвы. Значительное количество ориентированной глины в пахотных почвах способствует их разрушению при увлажнении. Более высокое содержание органического вещества в лесных почвах также усиливает связи, что делает агрегаты более устойчивыми [11].

Многими исследователями отмечается зависимость капельно-дождевой эрозии от влажности грунта. Начальное увлажнение поверхности почвы понижает сцепление ее агрегатов и способствует высокой скорости разбрызгивания частиц; затем образуется поверхностная корка, скорость разбрызгивания уменьшается; на поверхности собирается вода, турбулентное течение которой может удалить часть корки; влагопроницаемость почвы временно увеличивается, вода просачивается, и скорость разбрызгивания почвы снова возрастает.

Результаты опубликованных данных [2; 7; 13] указывают на двоякое влияние растительности на интенсивность капельно-дождевой эрозии. С одной стороны, на участках, покрытых травяной растительностью, капельно-дождевая эрозия развивается значительно слабее, чем на открытых поверхностях. При этом заметное уменьшение влияния капель за счет предохраняющей роли растительности наступает при покрытии почвы более чем на 50 %. Древесная растительность также оказывает защитное действие от эрозии. Основную роль в задержании капель дождя и предохранении грунта от капельно-дождевой эрозии играют густота листвы, фаза вегетации, видовой состав растительности, направление, наклон и количество скелетных ветвей. С другой стороны, листья являются концентраторами влаги и образуют капли гораздо большего размера. Кинетическая энергия проникающих под полог леса осадков в 1,5 раза больше, чем кинетическая энергия дождевых капель на открытых участках. Поэтому по склону в лесу, лишенном подлеска и травостоя, может переноситься в 3–6 раз больше материала, чем на открытой поверхности вспаханного поля [2].

Значительные колебания в размерах капельной эрозии определяются в значительной степени наличием лесной подстилки из опавших листьев и хвои, ветоши, а также циклами разложения органического вещества.

Орошение дождеванием приводит к образованию множества эрозионных лунок под покровом садовых деревьев и высокостебельных однолетних культур. Их объемы при сумме осадков 100 мм на посевах кукурузы составляют 2,3, подсолнечника – 4, под пологом винограда – 0,4 м³/га. Глубокие одиночные эрозионные лунки формируются при капельном орошении садов [13].

Некоторую роль в развитии капельной эрозии могут играть роющие животные, насекомые и черви, создающие на поверхности почвы обильные выбросы. Курганчики и копролиты переотложенной почвы легко разбрызгиваются при ударах капель, особенно крупных, преобразованных листьями, и, попадая в поверхностный сток, вносят свою долю в процесс эрозии почв.

Связь между интенсивностью капельно-дождевой эрозии и наклоном поверхности в различных работах оценивается неоднозначно. Например, Дж.Б. Торнз [5] утверждает, что разбрызгивание вниз по склону происходит на большее расстояние, чем вверх; на склоне крутизной 10 % это расстояние примерно в три раза больше. Р. Ивенс [6] также отмечает: эффект разбрызгивающего действия наиболее ярко выражен при увеличении крутизны склона и увеличении скорости ветра. Ветер придает падающим каплям горизонтальное направление силы воздействия, поэтому при ударе капли о поверхность почвы появляется эффект направленного разбрызгивания.

Полевые наблюдения, проведенные С. Моррисом в течение двух сезонов, контрастных по энергии дождевых осадков, выявили не только большую пространственную (в пределах двух порядков) и временную изменчивость смещения материала по склонам с разреженным растительным покровом,

но и позволили предположить существенность капельно-дождевой эрозии только на крутых склонах [15]. К аналогичному выводу пришел Р. Морган [16], не обнаруживший зависимости количества эродированного материала от крутизны склонов для сравнительно малых углов их наклона. Значения эрозии дождевыми каплями от места к месту сильно изменяются, поэтому данные, полученные на небольших участках, нельзя экстраполировать на обширные.

Значимым фактором переноса материала во время дождя является ветер. Наблюдения, проведенные во время ливней, сопровождаемых сильными ветрами, направленными против падения склона при угле падения капель $\sim 21^\circ$, выявили, что разбрызгивание грунта вверх и вниз по склону происходит примерно в равных количествах и суммарный перенос равен нулю. При падении капель под большим углом был зафиксирован суммарный перенос материала за счет разбрызгивания вверх по склону в размере от 123 до 669 г/м [9].

Длина склона имеет незначительное влияние на разбрызгивающее действие дождевых капель, однако при отделении и транспортировке материала стоком этот фактор может играть важную роль. Если не учитывать взаимодействие между каплями дождя и поверхностным стоком, можно утверждать, что на склонах, лишенных растительности, длина которых составляет более 10 метров, перемещение почвенных частиц под действием плоскостной эрозии значительно превышает перенос материала под действием ударов дождевых капель.

Дж. Мойерсонсом и Дж. Де Пломом [5] описывается другой тип процесса разбрызгивания, названный ползучестью при капельной эрозии или капельным крипом. После удаления тонких фракций путем сальтации при разбрызгивании на склоне остается более грубая фракция, которая перемещается под действием ударов дождевых капель, напоминая явление ползучести. В противоположность сальтации явление оползания зависит от длины склона и характеризуется прерывистым перемещением отдельных частиц. Явление капельного крипа было подтверждено Р.П. Морганом, проводившим полевые эксперименты по выяснению интенсивности капельно-дождевой эрозии на склонах крутизной $6-11^\circ$ [16].

Для оценки роли факторов капельно-дождевой эрозии и определения темпа и объема денудации, вызванных этим процессом, разработан ряд достаточно разнообразных методических приемов. Предлагаемые разными авторами способы решают прежде всего проблемы определения параметров осадков и величины денудации.

Определение плотности и спектра ливневых осадков обычно осуществляется с использованием обработанной реактивами фильтровальной бумаги. Для указанных целей испытан сорт рыхлой бумаги, покрытой водно-растворимой краской. Такая бумага лучше гасит силу удара падающих капель и тем самым снижает возможность их дробления. На ней остаются четкие, хорошо сохраняющиеся отпечатки. Для их измерения используется палетка, представляющая собой две линии, образующие острый угол. Она вычерчивается на кальке или прозрачной чертежной пленке. Палетка накладывается так, чтобы линии, образующие угол, были касательными к круговой границе пятна, оставляемого каплей. На линии наносятся деления, соответствующие тарировочным значениям диаметров капель дождя [7]. Реже используется метод «мучных гранул», по массе которых вычисляется диаметр дождевых капель [12]. В лабораторных условиях иногда применяется способ определения размера и скорости падения капель при высокоскоростном их фотографировании в свете фотовспышки, которая срабатывает при пересечении капель инфракрасного луча [14].

Данные по интенсивности, продолжительности и частоте выпадения дождей можно получить на ближайших метеорологических станциях. Но при проведении полевых детальных исследований требуется знание о параметрах осадков на каждом участке.

Определение размеров капельно-дождевой эрозии как в полевых, так и в лабораторных условиях осуществляется в основном с использованием пробоотборников различных конструкций и проводятся на тщательно выбранных типичных площадках или на опытных станциях.

Основным элементом пробоотборника является специальная доска, на которой собирается почва, переносимая в результате разбрызгивающего действия капель; затем почва смывается в контейнер. Разбрызгивающее действие капель выражается в массе почвы, переносимой с единицы площади в единицу времени, например $\text{кг}/\text{м}^2/\text{с}$. Поэтому необходимо также знать площадь, на которой проводится учет, принимая во внимание и тот факт, что разбрызгивающее действие капель учитывается не полностью, так как не все переносимые частицы попадают на пробоотборник. И в полевых условиях, и в лаборатории схема опыта должна быть такова, чтобы частицы грунта, разбрызгиваемые с узкой полосы, перехватывались двумя досками-пробоотборниками. Эти доски располагаются параллельно

контурным линиям так, чтобы учитывались сразу обе прилегающие части склона (как вверх, так и вниз по склону). Граничные значения разбрызгивающего действия капель могут быть получены путем последовательных замеров, проводимых на непрерывно сужающихся полосах поверхности почвы. Путем экстраполяции можно определить величину разбрызгивающего действия капель для полосы определенной ширины, например полосы шириной в 1 см. При проведении полевых измерений необходимо также следить за тем, чтобы получаемые значения разбрызгивающего действия капель не искажались под действием косого дождя [12].

Предпринимались попытки непосредственно измерить разбрызгивание почвы путем установки щитов с собирающими желобами, вводом небольших воронок для улавливания разбрызганных частиц, применением радиоактивных индикаторов, установкой специальных полых цилиндров, врытых по края в землю и окруженных внешней стенкой. Р.П. Морган приспособил лабораторные чашки для измерения капельной эрозии на песчаных почвах [11].

Дж. Поезен [9] количественные измерения транспортируемого грунта проводил с помощью алюминиевых пластин размером 20×46 см, установленных вертикально параллельно основанию склона и снабженных в нижней части желобом для сбора частиц грунта, а также заглубленных в грунт пробирок с диаметром горла 2,4 см.

В лабораторных условиях общий эффект разбрызгивающего действия капель (боковое разбрызгивание, а также его нижние и верхние пределы) определяется с использованием длинных узких лотков. Основание лотка должно дренироваться; для этой цели служит слой стеклянных шариков. Уровень стояния воды измеряется с помощью небольших пьезометрических трубок. В соответствии с условиями опыта (содержанием в почве влаги до начала дождя) проводится предварительное увлажнение почвы; увлажнение может проводиться, например, до уровня полевой влагоемкости. Лоток имеет винтовое крепление, с помощью которого может быть установлен необходимый угол наклона [12].

При анализе результатов исследований следует указывать на возможные случайные и систематические ошибки измерения; необходимо давать либо их абсолютные значения, либо относительные (последние выражаются в процентах от измеренных величин). Важно учитывать также такую существенную проблему, как возможное нарушение условий развития процесса при установке измерительных приборов.

Опубликованные разными авторами данные свидетельствуют о весьма неоднозначной оценке темпов денудации, вызванных капельно-дождевой эрозией.

С. Моррис [15], основываясь на результатах анализа материала, собранного в ловушки, предполагает существенность ударно-капельной эрозии на склонах крутизной 17–39°. Он считает, что на таких склонах для частиц малого размера этот механизм дает до 88 % всего материала, смещаемого в процессе течения склонового чехла.

По мнению М.Дж. Киркби, образование останцов высотой в несколько сантиметров под стеблями, раковинами, корнями и т. д. показывает, что под действием падающих капель при отсутствии растительного покрова может произойти значительное понижение поверхности почвы без какого-либо участия поверхностного стока. На почвах, лишенных растительности, перенос частиц только под действием капельной эрозии может составить до 100 см³/см в год; в условиях полувлажного климата под естественной растительностью максимальный перенос частиц составляет 2–5 см³/см в год [1]. Он же отмечает значимость капельно-дождевой эрозии для почв с высокой скоростью инфильтрации, а также в условиях выпадения сильных ливней, являющихся слишком короткими, чтобы создать поверхностный сток.

Проведенные полевые наблюдения показали, что при небольшом ливневом дожде с суммой осадков 9,2 мм и максимальной интенсивностью 2 мм/мин с поверхности суглинистого чернозема при разбрызгивании поднимается в воздух на высоту 10 см 768 кг почвенных частиц в расчете на 1 га, на уровень 20 см – 311 кг, на 30 см – 128 кг, а на 60 см – 5 кг. При сильных крупнокапельных ливнях всплеск почвенных частиц по высоте доходит до 1,5 м, а по массе составляет сотни тонн на га [7].

Результаты, полученные Р.П. Морганом [11] для склонов разной длины и крутизны, показывают, что главная работа разбрызгивания сводится к отделению частиц почвы до их уноса поверхностным стоком (табл. 3). Соответственно, эрозия, вызванная разбрызгиванием, является второстепенной по сравнению с плоскостной эрозией (за исключением некоторых особых случаев).

При ливнях большей интенсивности активизируется эрозия поверхностного стока, а при меньшей – возрастает роль капельно-дождевой эрозии. Наиболее быстрое перемещение почвенных частиц осуществляется по струйчатым потокам, а разбрызгивание почвы играет важную роль при подаче

дополнительного материала в эти потоки. Основная масса переносимого материала может быть представлена частицами почв, попавших в струйчатый поток именно при разбрызгивании. Таким образом, эрозионное понижение поверхности не ограничивается только руслами ручейковых потоков, а распространяется по всей поверхности. Возможно, в этом и заключается основная роль разбрызгивания почвы под ударами капель как фактора денудации.

Таблица 3

Скорость капельной эрозии [11]

Часть склона	Длина склона, м	Угол склона, град.	Годовая эрозия, кг/м ² , в числителе – перенос разбрызгиванием, в знаменателе – отделение разбрызгиванием
Верхняя	172	9	2,73/23,32
Средняя	193	11	6,81/14,70
Нижняя	201	11	5,11/22,79
Верхняя	178	8	4,93/28,42
Средняя	195	11	3,59/30,47
Нижняя	209	6	3,02/14,87

Капельно-дождевое разбрызгивание часто является единственным видом денудации в пределах водораздельных пространств, где поднятый каплями материал может перемещаться ветром даже при отсутствии уклона; а на верхних частях склонов – до участков формирования струйчатых потоков. В структуре бассейновой эрозии иногда такие территории относят к поясам отсутствия эрозии. Учитывая роль начального звена в классификации водной эрозии действия капель дождя, правильнее их считать поясами капельно-дождевой эрозии [17; 18]. Даже в пределах плоских поверхностей происходит направленное перемещение вещества, величина которого зависит от розы ветров во время выпадения дождей.

Таким образом, капельно-дождевую эрозию необходимо рассматривать в качестве самостоятельного вида общей денудации земной поверхности. В отдельных случаях процесс капельно-дождевой эрозии по объему денудации сопоставим с другими видами склоновых процессов, и его необходимо учитывать в денудационно-аккумулятивном балансе территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киркби М.Дж. Механика эрозионных процессов // Эрозия почвы. М.: Колос, 1984. С. 23-28.
2. Бредихин А.В. О роли капельно-дождевой эрозии в процессах денудации рельефа // Геоморфология. 1989. № 4. С. 51-58.
3. Шайдеггер А. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.
4. Тимофеев Д.А. Терминология денудации и склонов // Материалы по геоморфологической терминологии. М.: Наука, 1978. 242 с.
5. Торнз Дж.Б. Процессы эрозии, вызываемые водным потоком, и их регулирование во времени и пространстве: теоретическая точка зрения // Эрозия почвы. М.: Колос, 1984. С. 178-251.
6. Ивенс Р. Механика водной эрозии и ее регулирование во времени и пространстве: эмпирическая точка зрения // Эрозия почвы. М.: Колос, 1984. С. 155-177.
7. Сластухин В.В. Методика исследования эрозии почв, вызываемой интенсивными осадками // Современные аспекты изучения эрозионных процессов. Новосибирск, Наука, 1980. С. 28-32.
8. Bauer V. Soil splash as an important agent of erosion // Geogr. Pol. 1990. N 58. P. 99-106.
9. Poesen J. Field measurement of splash erosion to validate a splash transport model // Z. Geomorphol. 1986. Vol. 58. P. 81-91.
10. Farres P.J. The dynamics of rain splash erosion and the role of soil aggregate stability // Catena. 1987. Vol. 14. N 1-2. P. 119-130.
11. Джеррард А.Дж. Почвы и формы рельефа. Л.: Недра, 1984. 208 с.
12. де Плой Дж., Гэбриэлс Д. Определение потерь почвы и экспериментальные исследования // Эрозия почвы. М.: Колос, 1984. С. 96-154.
13. Сластухин В.В. Некоторые аспекты эрозионного воздействия капель на почву // Эрозиоведение: теория, эксперимент, практика. М.: МГУ, 1991. С. 142-143.

14. Epema G.F., Riezebos H.T. Drops shape and erosivity. Part 1: Experimental set up, theory, and measurement of drop shape // *Earth surf. Process. And Landforms*. 1984. Vol. 9, N 6. P. 567-572.
15. Morris S.E. The significance of rain splash in the surficial debris cascade of the Colorado front range foothills // *Earth surf. Process. And landforms*. 1986. Vol. 11, N 1. P. 11-22.
16. Morgan R.P. Field studies of rainsplash erosion // *Earth Surf. Process*. 1978. Vol. 3, N 3. P. 295-299.
17. Егоров И.Е. Структура эрозионной сети востока Русской равнины: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л., 1988. 20 с.
18. Ермолаев О.П. Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. 148 с.

Поступила в редакцию 04.02.15

I.E. Egorov

RAINDROP EROSION – MORPHOGENETIC VALUE AND RESEARCH METHODS

Raindrop erosion is a special kind of water erosion contributing to denudation of terrestrial surface. It is possible to allocate five basic geomorphological effects caused by shock action of rain drops: 1) splashing and carrying of particles over a ground by air; 2) development of drop creep, displacement of ground particles over a surface under the influence of blows of rain drops; 3) destruction of soil units and colmatage of soil surface; 4) stirring up of erosion slope streams and increasing of their transporting ability; 5) incoming of additional material into slope streams from adjoining sites at splashing. The article considers the major factors of raindrop erosion and existing methods of studying this process. The review of research materials concerning raindrop erosion allows to assert that sometimes the given process is comparable to other kinds of slope processes by the size of denudation. Within water separate spaces and top parts of slopes which in conditions of humid climate are usually qualified as zones without erosion, this process, probably, is a unique kind of denudation.

Keywords: raindrop erosion, denudation, destruction, colmatage, technique of researches.

Егоров Игорь Евгеньевич,
кандидат географических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп.1)
E-mail: egorov.i53@mail.ru

Egorov I.E.,
Candidate of Geography, Associate Professor
Udmurt State University
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034
E-mail: egorov.i53@mail.ru