

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

Научно-исследовательская лаборатория
эрозии почв и русловых процессов
имени Н.И. Маккавеева

Маккавеевские чтения – 2017

Научная редакция:
Р.С. Чалов, К.М. Беркович, Г.А. Ларионов

Москва – 2018

УДК 631.4
ББК 40.64
М15

М15 **Маккавеевские чтения – 2017:** Сборник материалов. М.: Географический факультет МГУ. 2018. 115 с.

Сборник содержит материалы ежегодного научного семинара "Маккавеевские чтения" Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева на Географическом факультете МГУ, состоявшегося 8 декабря 2017 г. (проведение семинара приурочено ко дню рождения основателя лаборатории профессора Н.И. Маккавеева). Кроме того, в сборник включены статьи по исключённым докладам на регулярном семинаре лаборатории за период 2015-2016 гг., представляющих интерес для гидрологов, геоморфологов, почвоведов, гидравликов, специалистов по эрозии почв и русловым процессам.

Сборник печатается по плану НИР Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева

Рецензенты:

доктор географических наук А.В. Чернов
кандидат географических наук Е.А. Львовская

*Печатается по постановлению
Ученого совета Географического факультета
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова.*

УДК 631.4
ББК 40.64

ISBN © Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, 2018
© Коллектив авторов, 2018
© Географический факультет МГУ, 2018

Научное издание

Маккавеевские чтения – 2017

Подписано в печать 1.06.2018. Заказ №
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 7.3. Тираж 100 экз.
ООО "Компания ПринтКоВ". 105064, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 7

СОДЕРЖАНИЕ

В.Р. Беляев, М.М. Иванов, Ф.А. Романенко, Е.В. Гаранкина, В.В. Сурков А.Л. Гуринов, Н.В. Кузьменкова, Ю.Р. Беляев ВОДОСНЕЖНЫЕ ПОТОКИ В МАЛЫХ ГОРНЫХ ДОЛИНАХ ХИБИН	4
А.А. Беляков БЫВШАЯ ВЫШНЕВОЛОЦКАЯ СУДОХОДНАЯ СИСТЕМА: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ	17
В.П. Бондарев МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ МОРФОДИНАМИКИ МАЛЫХ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ	31
О.А Борсук РУСЛОВОЙ ГАЛЕЧНЫЙ АЛЛОВИЙ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ РЕК: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ	41
А.С. Завадский, В.В. Сурков, П.П. Головлёв, Д.В. Ботавин, М.А. Самохин ПОЙМЕННО-РУСЛОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ р. МОСКВЫ (НИЖНЕЕ ТЕЧЕНИЕ), ИХ СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	50
Г.А. Ларионов, О.Г. Бушуева, А.В. Горобец, Н.Г. Добровольская, З.П. Кирюхина, С.Ф. Краснов, Л.Ф. Литвин, И.А. Максимова, И.И. Судницын ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭРОДИРУЕМОСТЬ И СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЧВЫ РАЗРЫВУ	65
Г.А. Ларионов, С.Ф. Краснов, Л.Ф. Литвин, А.В. Горобец, Н.Г. Добровольская, З.П. Кирюхина, Л.В. Кобыльченко, А.А. Соловьев ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА СКОРОСТЬ РАЗМЫВА ОБРАЗЦОВ ПОЧВЫ	76
М.М. Иванов, В.Н. Голосов ОПЫТ, СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ^{137}Cs В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ	83
А.Ю. Сидорчук МЕАНДРЫ РЕЧНОГО РУСЛА	93
А.Ю. Сидорчук ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД В НАМЫТЫХ ПОЧВАХ И СОВРЕМЕННАЯ ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА КАК РЕЗУЛЬТАТ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ р. ДОН	105

Ultisols using synchrotron-based X-ray micro-computed tomography // Soil and Tillage Research. 2015. Vol. 149.

Middleton H.E. Properties of soils which influence soil erosion // USDA. Technical Bulletin. 1930. No 178.

Nearing M.A., West L.T., Brown L.C. A Consolidation Model for Estimating Changes in Rill Erodibility // Trans. of ASAE. 1988. Vol. 31. No 3.

Park E.-J., Sul W.J., Smucker A.J. Glucose additions to aggregates subjected to drying/wetting cycles promote carbon sequestration and aggregate stability // Soil Biology and Biochemistry. 2007. Vol. 39. No 11.

Peele T.C. The Relation of Certain Physical Characteristics to the Erodibility of Soils // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1938. Vol. 2.

Salvador Sanchis M.P., Torri D., Borselli L., Poesen J. Climate effects on soil erodibility // Earth Surface Processes and Landforms. 2008. Vol. 33. No 7.

Song Yang, Liu Lianyou, Yan Ping, Cao Tong A review of soil erodibility in water and wind erosion research // Journal of Geographical Sciences. 2005. Vol. 15. No 2.

Wischmeier W.H., Johnson C.B., Cross B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites // Journal Soil and Water Conservation. 1971. Vol. 26.

**Г.А. Ларионов, С.Ф. Краснов, Л.Ф. Литвин, А.В. Горобец,
Н.Г. Добровольская, З.П. Кирюхина, Л.В. Кобыльченко,
А.А. Соловьев**

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломносова

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА СКОРОСТЬ РАЗМЫВА ОБРАЗЦОВ ПОЧВЫ*

Введение

В монографии Н.И. Маккавеева [1955] "Русло реки и эрозия в ее бассейне" одной из актуальнейших и в то же время недостаточно освещенных проблем гидрологии называется оценка факторов и механизмов размыва связных и несвязных грунтов. В частности, отмечается необходимость исследования пригружающего эффекта гидравлического давления на начальную скорость отрыва частиц. При этом делается ссылка на работу И.Ф. Бурлай [1946], в которой выдвигается идея о неправомочности использования гипотезы взвешивания применительно к частицам грунта, соприкасающимся с нижележащими частицами. Автор идеи полагает, что даже при точечном контакте вследствие больших удельных напряжений происходит смятие частиц по контакту, "благодаря чему точечный контакт обращается в контакт по площадке", в пределах которой не передается гидравлическое давление. Конечно, трудно представить, что кварцевые зерна мо-

* Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русло-вых процессов им. Н.И. Маккавеева (разработка методики и аппаратуры) и при поддержке РФФИ (проект № 16-05-00474, выполнение опытов и анализ результатов).

гут деформироваться в точках контакта. Более реальным представляется другой механизм возникновения пригружающего эффекта гидравлического давления на частицы грунта.

Как известно, глинистые минералы адсорбируют воду на своей поверхности путем явления эпитаксии, заключающегося в том, что молекулы воды адаптируются к геометрии адсорбционных центров поверхности и образуют за счет деформации водородных связей структурированный гидратный покров [Осипов, 2013]. Вода в адсорбционной пленке по своим физическим свойствам существенно отличается от свободной поровой воды. Она не передает гидростатического давления, не обладает взвешивающим эффектом, а ее вязкость в 3-5 раз выше, чем свободной воды.

Следующая пленка воды образуется за счет ионно-электростатического отталкивания диффузных слоев смежных поверхностей глинистых частиц. Ее толщина достигает до 300-500 нм для разбавленных растворов и уменьшается с увеличением концентрации растворов. Значение толщины пленки зависит в основном от величины заряда поверхности минерала и в меньшей степени от температуры. Внешнее давление может уменьшить толщину этой пленки до 40-70 нм, когда она прорывается и остается только адсорбционная пленка. Вследствие этих явлений пригружающий эффект гидростатического давления вполне возможен для глинистых частиц почв и грунтов.

Данная работа посвящена проверке этой гипотезы на примере оценки влияния гидростатического давления на скорость размыва легкоглинистого чернозема. Исследования проводились в широком диапазоне гидростатического давления.

Объекты и методы исследований

Эксперименты проводились на простом оборудовании, ядром которого была гидродинамическая труба прямоугольного сечения с внутренними размерами 19,5 и 29,9 мм и общей длиной $L=1020$ мм, изготовленная из плексигласа толщиной 12 мм (рис. 1).

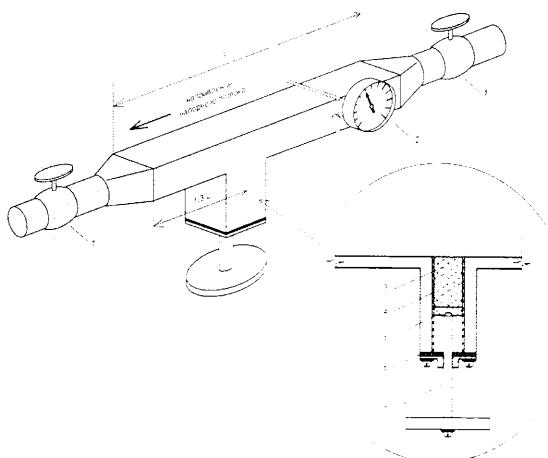


Рис. 1. Схема гидродинамической трубы: 1 – регулировочный кран, 2 – манометр, 3 – образец почвы, 4 – кассета, 5 – плунжер, 6 – резиновая уплотнительная прокладка, 7 – подающий винт.

На концах трубы завершалась короткими стальными патрубками. Входной патрубок соединялся напорным шлангом через регулируемый вентиль с насосом, выходной – через вентиль и шланг со сбросным резервуаром для воды, из которого она возвращалась к насосу. На одной из широких сторон трубы на расстоянии 150 мм от её конца находился проем размером 20×20 мм для кассеты с испытуемым образцом почвы. За пределами стенки трубы проем продолжался в приклеенном пластмассовом выступе еще на 46 мм с таким расчетом, чтобы кассета длиной 60 мм выступала из проема на 6-8 мм. На свободный конец кассеты надевалась уплотнительная резиновая прокладка с квадратным вырезом и металлическая квадратная пластина с закрепленным на ней подающим винтом. Пластина четырьмя винтами крепилась к выступу, и, обжимая резиновую уплотнительную прокладку, обеспечивала герметизацию трубы. От осевого перемещения кассета удерживалась закрепительным винтом. На противоположной стороне трубы, на ее боковой стенке был установлен манометр.

Материалом для изготовления модельных образцов служил пахотный горизонт (0-20 см) легкоглинистого выщелоченного чернозёма (Воловский район, Тульская область), из которого путем сухого просеивания отбирали почвенные агрегаты фракции 1-2 мм. Гранулометрический состав и некоторые другие характеристики почвы приведены в табл. 1. Навески воздушно-сухой почвы (фракция 1-2 мм) массой 7,43 г помещались в металлические бюксы и за 12-16 часов до начала эксперимента смачивали водой. Влажность навесок доводили до 24% (от массы воздушно-сухой почвы), что соответствует 55% от капиллярной влагоемкости, экспериментально определенной для фракции 1-2 мм данной почвы.

Таблица 1. Физические и физико-химические свойства пахотного горизонта чернозема (Анализы физико-химических свойств и гранулометрического состава почвы выполнены в Аналитической инструментальной лаборатории Почвенного института им. В.В. Докучаева)

Содержание ОВ*, %	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ммоль(экв)/100 г почвы,**				\sum частиц <0,01 мм, %	
			% от суммы обменных оснований	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
5,79	6,53	5,58		30,4 87,0	3,58 10,2	следы	0,97 2,8	50,9

ОВ* – массовая доля органического вещества, по Тюрину; ** – обменные основания, по Шолленбергеру.

Непосредственно перед экспериментом увлажненную навеску почвы перемешивали на листе пергамина и делили на три приблизительно равные части. Небольшими порциями первую и вторую части переносили в кассету с вложенным в нее деревянным вкладышем длиной в 30 мм, разравнивали и каждую часть отдельно уплотняли деревянным стержнем квадратного сечения, плотно без зазоров входившим в кассету. После закладки второй части образца на кассету ставили надставку такого же сечения, что и кассета, и переносили в нее оставшуюся часть почвы. Как и в первых двух

случаях, материал в надставке разравнивался по дну и затем в нее вставлялся квадратный деревянный стержень, по высоте равный надставке. Затем кассету с надставкой и стержнем помещали в винтовой пресс и вращали винт до упора. Таким образом, поверхность образца почвы приводили вровень с обрезом кассеты, а его среднюю плотность доводили до 1,3 г/см³.

Кассета с образцом почвы помещалась в проем в стенке трубы и там фиксировалась закрепительным винтом, что исключало ее продольное перемещение в процессе экструзии образца из кассеты подающим винтом во время опыта.

Предварительно подбирали степень открытия впускного и выпускного вентилей с тем, чтобы обеспечивать среднюю скорость потока в трубе равную 0,98-1,10 м/с и постоянную для каждой серии опытов величину гидростатического давления в диапазоне давления от 0 до 1,5 бар с шагом в 0,25 бар.

Расход воды измерялся с помощью водомерного счётчика и видеокамеры. Так как скорость размыва почвы зависит от температуры воды [Ларионов, Бушуева и др., 2014], то в продолжение опыта её поддерживали в узком диапазоне (19-23°C).

После пуска воды по мере размыва почву постепенно выдавливали из кассеты, с тем расчетом, чтобы поверхность почвы находилась на уровне дна трубы в течение всего опыта.

Опыт продолжался в течение часа либо до полного размыва образца. В первом случае остатки образца извлекали из кассеты и высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали. Интенсивность размыва вычисляли как частное от деления массы смытой почвы на время размыва и приводили к площади, равной 1 м². В каждом диапазоне гидростатического давления опыты проводились в 4-8-кратной повторности.

Обсуждение результатов

Результаты опытов, подвергнутых статистической обработке, продемонстрировали достоверную закономерную связь между величиной гидростатического давления, оказываемого водным потоком на легкоглинистый чернозем, и интенсивностью размыва почвы (табл. 2).

Таблица 2. Интенсивность размыва чернозема при различном гидростатическом давлении водного потока

H , бар	n , шт.	M , г/м ² ·с	s , г/м ² ·с	Cv , %	m , г/м ² ·с	$M_n - M_{n+1}$, г/м ² ·с
0	4	41,5	6,54	15,8	3,27	-
0,25	5	20,1	6,59	32,7	2,95	21,4
0,50	5	10,4	1,09	10,5	0,49	9,74
0,75	8	2,96	1,85	62,6	0,65	7,45
1,00	5	1,73	0,73	42,0	0,32	1,23
1,25	5	1,35	0,33	24,3	0,15	0,37
1,50	4	1,16	0,54	46,7	0,27	0,20

H – гидростатическое давление водного потока; M – средние значения интенсивности размыва почвы; s – среднее квадратическое отклонение; Cv – коэффициент вариации; m – ошибки средних значений M ; $M_n - M_{n+1}$ – изменения значений M при увеличении значений H на 0,25 бар; n – количество измерений.

Максимальная интенсивность размыва $41,5 \text{ г}/\text{м}^2\cdot\text{с}$ отмечена при отсутствии гидростатического давления. При его увеличении интенсивность размыва почвы уменьшается, причем скорость уменьшения падает по мере роста гидростатического давления. Так, при возрастании гидростатического давления (H) от 0 до 0,25 бар интенсивность размыва почвы (I) уменьшилась на $21,4 \text{ г}/\text{м}^2\cdot\text{с}$, а при его возрастании от 1,25 до 1,5 бар она уменьшилась всего лишь на $0,20 \text{ г}/\text{м}^2\cdot\text{с}$. Нелинейная зависимость между I и H описывается эмпирическим уравнением:

$$I = 41,5 e^{-2,757 H} \quad (1)$$

Следовательно, между интенсивностью размыва почвы и гидростатическим давлением, оказываемым водным потоком на почву, существует обратная экспоненциальная зависимость. О достоверности этой зависимости свидетельствует тот факт, что коэффициент детерминации между I и H равен 0,93. В графическом изображении (рис. 2) эта зависимость представлена кривой линией. Несомненно, что все точки на рисунке принадлежат одной экспоненциальной зависимости, так как 5 точек отклоняются от линии не больше, чем на величину среднего квадратического отклонения (табл. 2).

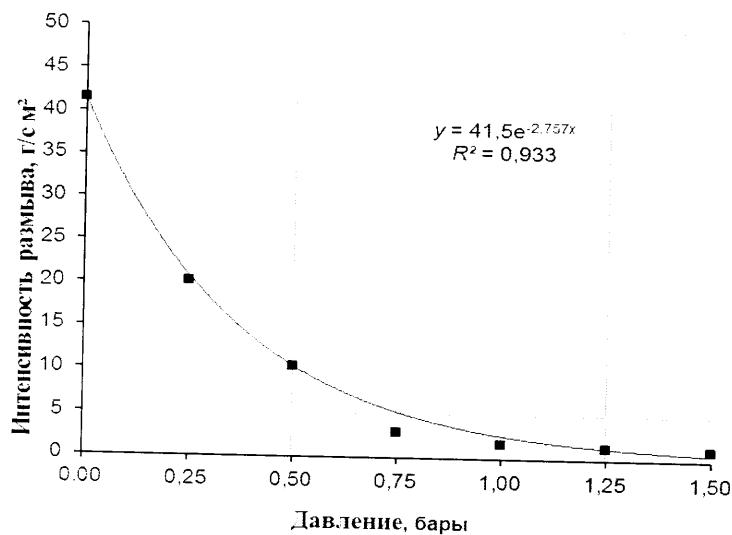


Рис. 2. Зависимость интенсивности размыва почвы от гидростатического давления водного потока.

Существование этой зависимости можно объяснить воздействием на почву трех различных сил: взаимного притяжения частиц почвы (в основном это силы Ван-дер-Ваальса), расклинивающего давления почвенной влаги и гидростатического давления. Силы взаимного притяжения частиц почвы обязаны своим происхождением энергии взаимного притяжения молекул. Эта энергия суммируется в результате сложения сил ориентационного, индукционного и дисперсионного взаимодействия молекул (обычно их объединяют под названием "силы Ван-дер-Ваальса"). Величина этих сил находится в обратной зависимости от расстояния между молекулами. В почвах оно определяется расстоянием между кристаллами глинистых минералов, имеющими пластинчатую форму.

Гидростатическое давление водного потока может влиять на расстояние между кристаллами глинистых минералов, так как оно, хотя и передается через водные пленки, но это происходит очень медленно [Осипов, 2013]. В результате этого частицы внешнего слоя размываемой почвы прижимаются к частицам следующего слоя, вызывая уплотнение почвы, вследствие чего кристаллы глинистых минералов сближаются и располагаются параллельно друг другу. Это приводит к увеличению числа точек контакта между ними и, следовательно, к усилинию их взаимного притяжения (вызванного силами Ван-дер-Ваальса), препятствующего выносу частиц почвы водным потоком.

Во влажных почвах силам взаимного притяжения кристаллов глинистых минералов противостоит расклинивающее давление водных пленок, покрывающих их поверхность. Оно возникает благодаря тому, что в этих пленках находятся ионы (в почвах обычно представленные катионами), формирующие диффузный слой. Эти катионы гидратируются, то есть с большой силой притягивают к себе полярные молекулы воды (так, например, катионы калия притягивают молекулы воды с энергией, равной 314 кДж/моль, натрия – 398, водорода – 1060, кальция – 1580, магния – 1910, железа – 4355 и алюминия 4640 кДж/моль) [Роде, 1965]. В то же время эти катионы сами с большой силой притягиваются к отрицательно заряженной поверхности кристаллов глинистых минералов силами электростатического взаимодействия зарядов противоположного знака (закон Кулона). Согласно теории, развитой Л.Д. Ландау и Б.В. Дерягиным [1945], между расклинивающим давлением водных пленок (P_h), прилегающих к поверхности электрически заряженных коллоидных частиц и содержащих ионы ("противоионы"), и толщиной этих водных пленок (h) существует обратная экспоненциальная зависимость:

$$P_h = P_0 e^{-xh}. \quad (2)$$

В логарифмической форме эта зависимость имеет вид:

$$\ln P_h = \ln P_0 - xh, \quad (3)$$

где P_0 равно P_h при $h = 0$; x – величина, обратная дебаевской толщине ионной атмосферы, которая является функцией величины электрических зарядов как поверхности коллоидных частиц, так и противоионов. Эта зависимость называется законом Ландау-Дерягина.

Интенсивность размыва почв и грунтов зависит от соотношения этих противоположно направленных сил (сил взаимного притяжения частиц почвы, расклинивающего давления почвенной влаги и гидростатического давления). Так, при малой величине гидростатического давления, действующего на поверхность размываемого образца почвы, величина расклинивающего давления водных пленок, содержащих диффузный слой гидратированных катионов, превышает силы взаимного притяжения частиц почвы. В результате этого частицы с большой скоростью отрываются водным потоком от поверхности размываемого образца почвы. Однако при возрастании глубины водного потока он начинает оказывать все большее гидростатическое давление на поверхность почвы, направленное противоположно

расклинивающему давлению. Благодаря тому, что гидростатическое давление, хотя и передается вглубь почвы через тонкую пленку воды, адсорбированной на кристаллах глинистых минералов, но очень медленно. Увеличение гидростатического давления потока все теснее прижимает глинистые частицы, расположенные на поверхности образца почвы, к нижележащему слою почвы. В результате этого расстояние между ними уменьшается, силы их взаимного притяжения (силы Ван-дер-Ваальса) возрастают, что и приводит к снижению скорости размывания почвы водным потоком.

Заслуживает дальнейшего исследования тот факт, что зависимость между гидростатическим давлением, оказываемым водным потоком на поверхность размываемого образца почвы, и интенсивностью его размыва описывается функцией того же типа (то есть обратной экспоненциальной), что и закон Дерягина-Ландау, который устанавливает зависимость между расклинивающим давлением водных пленок (прилегающих к поверхности электрически заряженных коллоидных частиц и содержащих противоионы) и толщиной этих водных пленок.

Заключение

Размыв образцов легкоглинистого чернозема водным потоком при возрастании гидростатического давления от 0 до 0,75 бар резко падает с 41,5 до 2,96 г/м²·с, составляя, в среднем, 51,4 г/м²·с·бар. При дальнейшем увеличении гидростатического давления (вплоть до 1,5 бар) скорость размыва также замедляется, но в этом диапазоне гидростатического давления градиент уменьшения скорости размыва составляет, в среднем, всего лишь 2,4 г/м²·с·бар.

Уменьшение скорости размыва является следствием уплотнения почвы, вызванного тем, что гидростатическое давление очень медленно передается через диффузный слой воды, расположенный между частицами глинистых минералов, имеющих пластинчатую форму. В результате этого уплотнения, частицами глинистых минералов, расположенные на поверхности образца размываемой почвы, сближаются с частицами нижележащего слоя и притягиваются к ним силами Ван-дер-Ваальса, что в итоге (несмотря на наличие расклинивающего давления почвенной влаги) снижает интенсивность размывания почвы водным потоком.

Между интенсивностью размыва почвы (I) и гидростатическим давлением (H), оказываемым водным потоком на почву, существует обратная экспоненциальная зависимость ($I = 41,5 e^{-2,757 H}$), аналогичная закону Ландау-Дерягина.

Полученные результаты имеют большое прикладное значение, так как доказывают, что зависимость интенсивности размыва связанных грунтов от гидростатического давления необходимо учитывать при определении неразмывающей нормативной скорости при значительных глубинах водного потока в каналах и руслах естественных водотоков.

ЛИТЕРАТУРА

Бурлай И.Ф. О начальной скорости донного влечения // Метеорология и гидрология. 1946. № 6. С. 51-57.

Дерягин Б.В., Ландау Л.Д. Теория устойчивости сильно заряженных золей и слипания сильно заряженных частиц в растворах электролитов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1945. Т. 15. Вып. 11. С. 660–672.

Ларионов Г.А., Бушуева О.Г., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф. Влияние температуры воды и влажности почвы на эродируемость образцов чернозема (модельный опыт) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 890–896.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 353 с.

Осипов В.И. Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах // Грунтоведение. 2013. № 2. С. 3–34.

Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 663 с.

М.М. Иванов, В.Н. Голосов

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

ОПЫТ, СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ^{137}Cs В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ*

Радиоизотоп ^{137}Cs является одним из основных радиоактивных загрязнителей, поступавших на земную поверхность в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере и под землёй во второй половине XX века, а также аварий на объектах атомной промышленности [Израэль и др., 1994; Davis, 1963; Longmore 1982; Ritchie, McHenry, 1990; Devell et al., 1995], имея исключительно техногенное происхождение, он одновременно используется в качестве трассера при изучении темпов эрозионно-аккумулятивных процессов и изучается как загрязнитель, который перераспределяется в пределах суши, преимущественно, благодаря процессам водной эрозии.

Применение ^{137}Cs в качестве трассера

Способность к адсорбции и замещению щелочных металлов делают ^{137}Cs очень удобным для использования в качестве "радиоактивной метки" [Фокин и др. 2011; Tamura, 1964; Cremers et al., 1988; He, Walling, 1996]. Главными особенностями ^{137}Cs , обуславливающими его применение в качестве трассера являются: быстрая после выпадения из атмосферы и устойчивая сорбция минеральными частицами (в особенности глинистыми); отно-

* Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова и проекта РФФИ № 18-55-50002