

Рус.: УДК: 631.485

### **Закономерности процессов переноса и отложения почвенного материала водными потоками малой глубины**

Демидов Валерий Витальевич, Осанина Оксана Олеговна

Основная цель данной работы – на примере дерново-подзолистой почвы разной степени смытости количественно оценить способность потоков малой глубины на системном уровне «поток–почва» переносить определённое количество почвенного материала. Определение количества переносимой и отложившейся дерново-подзолистой почвы разной степени смытости проводилось на большом эрозионном лотке. В экспериментах определяли следующие показатели: среднюю скорость потока и мутность воды, радиус влекомых и отложившихся в русле агрегатов и другие. Эти показатели использовались для верификации теоретического уравнения транспортирующей способности.

Ключевые слова: почва, эрозия, моделирование, транспортирующая способность, поток воды

### **Regularities of the processes of transport and deposition of soil material by water flows small depth**

Demidov Valerii Vitalievich, Osanina Ol'ga Olegovna

The main objective of this work by the example of soddy-podzolic soil of different degree of wash off quantitatively assess the ability of small depth flows at the system level «flow-soil» to transfer certain mass of soil material. Determination of quantities transfer and deposition of soddy-podzolic soil of different degree of wash off spend on a large erosive tray. In the experiments was determined by the following indicators: the average velocity of flow and turbidity of water, the radius of the transported and deposited in the stream bed of aggregates and other. These indicators are used for verification of the theoretical equation transporting capacity.

Keywords: Soil, erosion, modeling, transporting capacity, water flow

## **Введение**

Отрыв почвенных частиц водными потоками, их перенос или отложение являются основными процессами, протекающими в период формирования поверхностного стока и смыва почвы. Интенсивность смыва почвы водными потоками зависит от ряда факторов. Многие исследователи к ним относят климатические, топографические, почвенные, литологические и др. При этом, оценивая процессы эрозии необходимо учитывать не только скорости потоков (среднюю, размывающую или донную), но и транспортирующую способность потока.

Под транспортирующей способностью потока понимается наибольший возможный при данном гидравлическом режиме потока расход наносов [6, 9, 10]. По определению гидрологического словаря, транспортирующая способность потока – предельный расход наносов, который способен транспортировать поток [8]. То есть транспортирующая способность численно равна расходу наносов, который поток в состоянии переносить при заданных гидравлических условиях [1].

Проблеме транспорта наносов посвящено много работ. В подавляющем большинстве случаев исследования проводились применительно к большим русловым потокам. Между тем перемещение наносов является одним из важных компонентов ручейковой эрозии почв.

Следовательно, при рассмотрении механизма отрыва и транспорта почвенного материала водными потоками необходимо рассматривать его с точки зрения протекания этого процесса на системном уровне «поток воды и почва». Взаимодействие водного потока с почвой, степень его насыщения почвенным материалом, перенос или аккумуляция, всё это будет определять интенсивность проявления эрозионных процессов. А, следовательно, и формирование смытых и намытых почв на склонах. Известно, что основное количество смываемого почвенного материала происходит в результате формирования склоновых потоков глубиной 10-15 мм. В связи с этим, возникает необходимость в разработке различных методов оценки транспорта почвенного материала потоками малой глубины.

## **Цель исследования**

Цель исследования состояла в количественной оценке способности склоновых потоков малой глубины на системном уровне «поток воды и почва» переносить определённую массу почвенного материала разной степени смытой и намытой дерново-подзолистой почвы.

## **Материал и методы исследования**

Модельные эксперименты проводились на большом эрозионном лотке. Для проведения экспериментов необходимо было иметь образцы несмытой, намытой, слабо- и среднесмытой почвы. На территории Солнечногорского района Московской области (УО ПЭЦ МГУ «Чашниково») была выбрана катена, где были отобраны образцы из пахотного горизонта дерново-

подзолистой несмытой, средненамытой, слабо- и среднесмытой почвы. Определение степени смытости, намытости и выделение их границ определялось путём заложения и описания почвенных разрезов в различных элементах рельефа [5].

В отобранных образцах проводили определение водопрочности макроструктуры почв по методу Н.И. Саввинова. Фракционирование образцов почвы проводили на ситах в воздушно-сухом состоянии (сухое просеивание) и фракционирования в воде (мокрое просеивание). В первом случае фиксировалось количество агрегатов разного размера, во втором – определялось количество водопрочных агрегатов, т.е. давалась качественная оценка структуры по водопрочности [2]. Величина критической скорости потока, а, следовательно, и количество транспортируемой почвы будет зависеть от преобладающей фракции агрегатов.

Определение содержания углерода в почве проводили по методике Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель с последующим пересчётом на содержание гумуса [7].

Определение скорости водного потока, количество переносимого почвенного материала и диаметр влекомых и отложившихся в русле агрегатов определяли на «большом» эрозионном лотке. Эрозионный лоток представляет собой устройство для проведения модельных экспериментов в лабораторных условиях с целью изучения и прогнозирования различных процессов водной эрозии почв. В наших экспериментах на ложе лотка было создано искусственное русло (длина – 5 м, ширина – 0,1 м), в которое с помощью насоса подавался разный объём воды. Подача почвы в поток осуществлялась с помощью дозатора и ленточного транспортера (скорость движения транспортёра может изменяться от 25 до 250 мм/с). Высота выступов шероховатости ложа  $0,7d=0,35$  мм. Лоток также имеет устройство для изменения угла наклона русла. Поток воды нагружался почвой в воздушно-сухом и капиллярно-увлажнённом состоянии. Почвы, переносимая потоком воды, поступала на набор сит, что позволяло определить её агрегатный состав. Глубина потока и его скорость регулировались посредством изменения угла наклона лотка.

Анализ полученных экспериментальных данных и построение графиков проводился с использованием программы Microsoft Office Excel.

### ***Методика расчёта транспортирующей способности потока***

Экспериментально на большом эрозионном лотке определялись: глубина потока (м), уклон лотка (град.), расход воды в эксперименте (л/с), время эксперимента (с), средняя скорость потока (м/с), масса вынесенной почвы (г) и средний диаметр агрегатов (мм), вынесенных потоком и отложившихся в русле.

Расчёт транспортирующей способности потока проводился по уравнению (1), разработанному сотрудниками кафедры эрозии и охраны почв В.М. Гендуговым с соавторами [4]:

$$\beta = \frac{C}{(gH)^{\frac{1}{\gamma}}} (V^2 - V_k^2)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – транспортирующая способность потока, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – глубина потока, м;  $V$  – средняя скорость потока, м/с;  $V_k$  – критическая скорость потока, м/с;  $C$  – эмпирический коэффициент, кг/ м<sup>3</sup>;  $1/\gamma$  – эмпирический показатель степени.

Критическая скорость потока рассчитывалась для влекомых или отложившихся в потоке агрегатов по уравнению [3]:

$$V_k = \sqrt{\frac{\frac{4}{3}(\frac{\rho_i}{\rho_e} - 1)gr_i + \frac{f_i}{r_i\rho_e}}{K_d}}, \quad (2)$$

где  $f_i$  – коэффициент поверхностного сцепления для влекомых или отложившихся агрегатов, Н/м;  $K_d$  – коэффициент подъемной силы (с-вихря);  $r_i$  – радиус влекомых или отложившихся в русле агрегатов, м;  $\rho_i$  – плотность твердой фазы почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_e$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>; остальные обозначения прежние.

Расчёт коэффициента поверхностного сцепления ( $f_i$ ) проводился по уравнению [4]:

$$f_i = \frac{4}{3}r_i^2 g(\rho_i - \rho_e), \quad (3)$$

## Результаты исследования и их обсуждение

### *Агрегатный состав исследуемых почв*

Проведенный анализ агрегатного состава исследуемых почв в исходном, воздушно-сухом состоянии (до экспериментов), показал, что наибольший средневзвешенный диаметр агрегатов был определен в образце средненамытой почвы – 4,44 мм. В образцах же несмытой, слабо- и среднесмытой почвы наблюдается закономерное уменьшение средневзвешенного диаметра агрегатов с увеличением степени смытости – от 4,08 мм в несмытой до 3,34 мм в среднесмытой почве (табл. 1).

В то же время при определении средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (мокрое просеивание воздушно-сухой почвы) наблюдается несколько другая закономерность. Наименьший диаметр водопрочных агрегатов присущ средненамытой почве – 0,88 мм, в то время как наибольший – 2,25 мм – несмытой почве. При мокром просеивании капиллярно-увлажнённой слабосмытой и среднесмытой почв средневзвешенные диаметры водопрочных агрегатов составил соответственно 1,44 и 1,55 мм (табл. 1). Большой диаметр водопрочного агрегата у среднесмытой почвы по сравнению со слабосмытой можно объяснить тем, что в её пахотном горизонте большая роль в формировании водопрочности структуры принадлежит гранулометрическому составу, а не содержанию гумуса. Это связано с вовлечением в пахотный горизонт элювиального и переходного между элювиальным и иллювиальным горизонтами в результате вспашки.

При мокром просеивании капиллярно-увлажненной почвы была обнаружена закономерность, сходная с той, что была выявлена при сухом просеивании воздушно-сухой почвы. Во-первых, довольно высокое значение средневзвешенного диаметра агрегатов для средненамытой почвы – 3,90 мм, во-вторых, уменьшение значения этого показателя с увеличением степени смывости почвы – от 4,14 до 2,86 мм (табл. 1).

*Таблица 1– Средневзвешенный диаметр агрегатов в зависимости от вида фракционирования*

Почва	Вид фракционирования и d агрегатов (мм)		
	сухое просеивание воздушно-сухой почвы	мокрое просеивание воздушно-сухой почвы	мокрое просеивание капиллярно-увлажненной почвы
несмытая	4,08	2,25	4,14
слабосмытая	3,97	1,44	3,36
среднесмытая	3,34	1,55	2,86
средненамытая	4,44	0,88	3,90

Анализ результатов мокрого просеивания воздушно-сухой и капиллярно-увлажненной почвы показали, что средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов больше при предварительном капиллярном увлажнении образца. Это явление можно объяснить тем, что при капиллярном увлажнении поры внутри агрегатов почвы постепенно заполняются водой и при последующем погружении образца в воду не происходит резкого вытеснения воздуха из пор, разрушающего агрегаты, что имеет место при мокром просеивании воздушно-сухих образцов.

Таким образом, при анализе данных по агрегатному составу исследуемых почв, было выявлено, что он зависит от степени смывости почвы – чем больше степень смывости, тем меньше средневзвешенный диаметр агрегатов. Исключение составляет средненамытая почва при её фракционировании в воздушно-сухом и капиллярно-увлажнённом состоянии.

***Связь между содержанием гумуса в исследуемых почвах и их агрегатным составом***

Известно, что содержание гумуса в почве зависит от степени её смывости. Проведенные нами определения содержания гумуса в исследуемых образцах почвы показали, что с увеличением степени смывости этот показатель уменьшается с 2,37 % в несмытой до 1,96 % в среднесмытой почве. В то же время максимальное содержание гумуса было обнаружено в средненамытой почве – 2,56 % (табл. 2).

*Таблица 2 – Средневзвешенный диаметр ( $\bar{d}$ ) агрегатов при разных видах фракционирования в зависимости от содержания гумуса в почве*

Почва	Среднее содержание гумуса в слое 0-30 см, %	Вид фракционирования, $\bar{d}$ агрегатов (мм)	
		сухое просеивание воздушно-сухой почвы	мокрое просеивание капиллярно-увлажненной почвы
несмытая	2,37	4,08	4,14
слабосмытая	1,97	3,97	3,36
среднесмытая	1,96	3,34	2,86
средненамытая	2,56	4,44	3,90

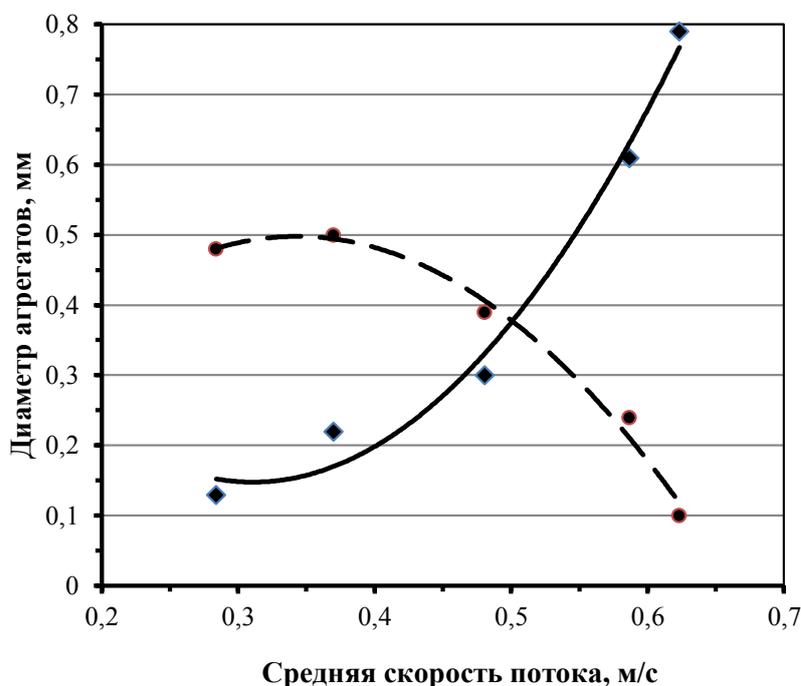
Связь между содержанием гумуса и средневзвешенным диаметром агрегатов была обнаружена при двух видах фракционирования исследуемых почв – просеивание образцов в воздушно-сухом состоянии и мокрое просеивание капиллярно-увлажненных образцов почвы. Результаты анализа показали следующее. С возрастанием общего содержания гумуса в исследуемых почвах средневзвешенный диаметр агрегатов при различных видах их фракционирования увеличивается. Так, например, в несмытой почве при содержании в ней гумуса 2,37 %, средневзвешенный диаметр агрегатов при сухом просеивании воздушно-сухой почвы составил 4,08 мм, при мокром просеивании капиллярно-увлажненной почвы – 4,14 мм. В среднесмытой почве при содержании гумуса 1,96 % средневзвешенный диаметр агрегатов при просеивании воздушно-сухих образцов – 3,34 мм и при мокром просеивании капиллярно-увлажненных образцов – 2,86 мм (табл. 2).

Связь между степенью смытости почвы, содержанием в ней гумуса и средневзвешенным диаметром водопрочных агрегатов, определяемым при мокром просеивании воздушно-сухой почвы, обнаружена не была.

Таким образом, установлено, что, содержание гумуса уменьшается с увеличением степени смытости. В намытой же почве его содержание достаточно высокое. Наблюдается связь содержания гумуса со средневзвешенным диаметром агрегатов при фракционировании как воздушно-сухой почвы, так и при мокром её просеивании в капиллярно-увлажненном состоянии.

#### ***Анализ влияния скорости потока на изменения диаметра транспортируемых и отложившихся агрегатов***

Модельные эксперименты на большом эрозионном лотке с образцами несмытой почвы проводились в диапазоне скоростей потока от 0,28 м/с до 0,62 м/с. При этом значения диаметра влекаемых потоком агрегатов воздушно-сухой почвы увеличивались с возрастанием скорости с 0,13 мм до 0,79 мм, а отложившихся в русле – уменьшались от 0,48 мм до 0,10 мм (рис. 1).



*Рис. 1 – Изменение диаметра влекомых и отложившихся агрегатов несмытой почвы от скорости потока (воздушно-сухое состояние)*

*Условные обозначения: ◆—◆ – влекомые и ●—● – отложившиеся агрегаты.*

В экспериментах с капиллярно-увлажненной почвой в том же диапазоне скоростей наблюдалось незначительное увеличение диаметра влекомых потоком агрегатов (с 0,10 мм до 0,20 мм), а диаметры отложившихся в русле практически не изменялся и колебался в пределах 1,00-0,93 мм (рис. 2).

Анализ результатов экспериментов с воздушно-сухой несмытой почвой, показывает, что наблюдается закономерность в изменении диаметров влекомых и отложившихся агрегатов с возрастанием средней скорости потока, в то время для капиллярно-увлажненной почвы эта зависимость выражена гораздо слабее (рис. 1, 2). Это можно объяснить тем, что данная почва, являясь несмытой и будучи сформированной на участке пологого склона с уклоном не более  $1,1^{\circ}$ , ранее не подвергалась интенсивным эрозионным процессам. Следовательно, в капиллярно-увлажненном состоянии она значительно более устойчива к этим процессам, чем в воздушно-сухом.

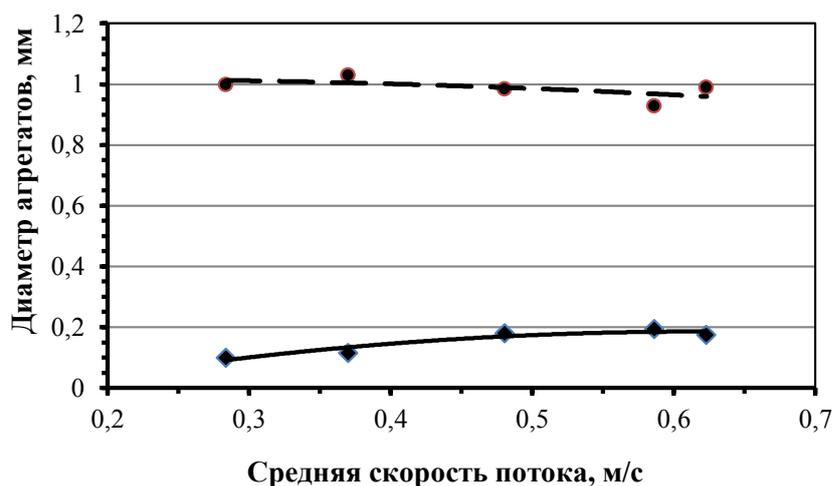


Рис. 2 – Изменение диаметра влекомых и отложившихся агрегатов несмытой почвы от скорости потока (капиллярно-увлажненное состояние)

Условные обозначения: ◆—◆ – влекомые и ●—● – отложившиеся агрегаты.

Модельные эксперименты с образцами слабосмытой почвы проводились в диапазоне средних скоростей потока от 0,28 м/с до 0,53 м/с. При этом средневзвешенные диаметры влекомых агрегатов варьировали от 0,09 мм до 0,59 мм при исследовании воздушно-сухих образцов и от 0,10 мм до 0,71 мм – капиллярно-увлажненных. Диаметры отложившихся агрегатов для воздушно-сухой почвы варьировали от 0,35 мм до 0,09 мм, а капиллярно-увлажненной – 2,17-1,53 мм.

Анализ результатов изменения диаметра влекомых и отложившихся агрегатов слабосмытой воздушно-сухой и капиллярно-увлажненной почвы показал, что наблюдается закономерность, близкая к результатам, полученным в экспериментах с образцами несмытой почвы.

Анализ результатов определения диаметра влекомых и отложившихся агрегатов среднесмытой почвы в воздушно-сухом состоянии показывает, что общая закономерность, выявленная для несмытой и слабосмытой почвы от степени смытости не зависит. Диапазон средних скоростей потока, установленных для этой почвы, существенно не менялся по сравнению с ранее исследованными почвами: 0,20-0,54 м/с. При этом диаметр влекомых агрегатов воздушно-сухой почвы с увеличением скорости потока возрастал с 0,08 мм до 1,37 мм, а отложившихся, напротив, уменьшался с 0,49 мм до 0,02 мм (рис. 3). На рисунке 4, показано изменение диаметров влекомых и отложившихся агрегатов при исследовании среднесмытой почвы в капиллярно-увлажненном состоянии.

Из графика 3 видно, что при этой степени смытости почвы закономерность, выявленная ранее для несмытой и слабосмытой почвы имеет несколько иной вид. Характер распределения точек аналогичен зависимостям, обнаруженным при исследовании воздушно-сухих образцов несмытой, слабосмытой и

среднесмытой почвы. Диаметр влекомых агрегатов возрастал с 0,07 до 1,92 мм, а отложившихся уменьшался с 1,13 до 0,38 мм.

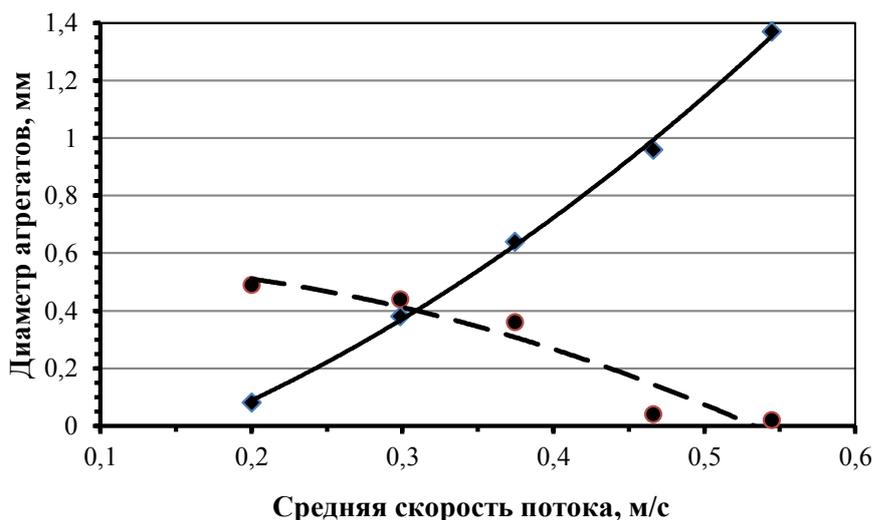


Рис. 3 – Изменение диаметра влекомых и отложившихся агрегатов среднесмытой почвы от скорости потока (воздушно-сухое состояние)

Условные обозначения: ◆—◆ – влекомые и ●—● – отложившиеся агрегаты.

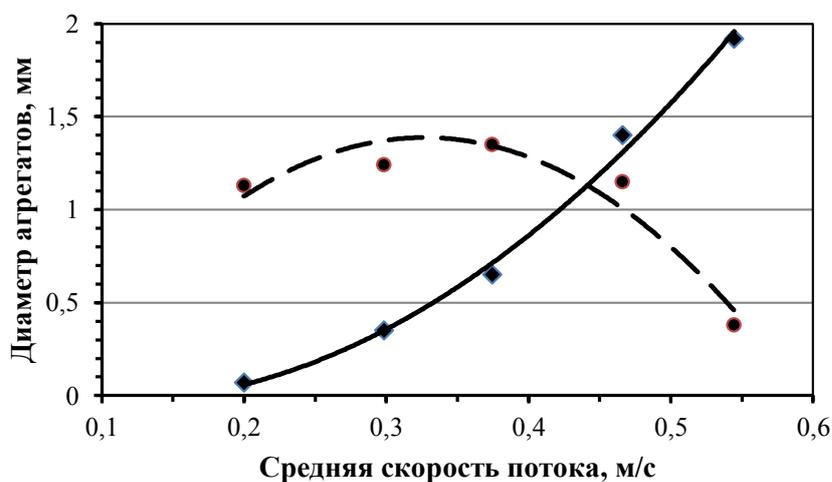


Рис. 4 – Изменение диаметра влекомых и отложившихся агрегатов среднесмытой почвы от скорости потока (капиллярно-увлажненное состояние)

Условные обозначения: ◆—◆ – влекомые и ●—● – отложившиеся агрегаты.

При проведении модельных экспериментов со средненамытой почвой средняя скорость потока изменялась от 0,22 м/с до 0,58 м/с. Для почвы в воздушно-сухом состоянии диаметры влекомых агрегатов возрастали с 0,08 мм до 0,39 мм с увеличением средней скорости потока, а диаметры отложившихся агрегатов уменьшались с 0,33 мм до 0,01 мм.

В модельных экспериментах со среднесмытой капиллярно-увлажненной почвой диаметр влекомых агрегатов с возрастанием скорости потока увеличивался с 0,09 мм до 1,19 мм, а отложившихся – уменьшался с 1,42 мм до 0,17 мм. При этом характер изменения диаметра как влекомых, так и отложившихся агрегатов, в обоих вариантах эксперимента близок к среднесмытой почве.

Проведенный анализ изменения диаметра влекомых потоком воды и отложившихся в русле агрегатов почвы, поступающей в него как в воздушно-сухом, так и в капиллярно-увлажненном состоянии, показал, что с увеличением скорости водного потока диаметр транспортируемых агрегатов возрастает, в то время как откладывающиеся агрегаты становятся тем мельче, чем больше скорость потока.

### ***Верификация уравнения транспортирующей способности потоков малой глубины (на примере дерново-подзолистых почв)***

Верификация уравнения 1 проводилась следующим путём. На основании экспериментальных результатов модельных экспериментов с образцами исследуемых почв, были получены фактические значения мутности потока ( $B$ , кг/м<sup>3</sup>) и средней скорости протока ( $V$ , м/с). В расчёте критической скорости потока для влекомых агрегатов ( $V_{кр\text{ вл}}$ , м/с) использовались уравнения 2 и 3. Для нахождения значений эмпирический показатель степени  $1/\gamma$  и эмпирический коэффициент  $C$ , строились графики зависимости  $\ln B$  от  $\ln(V^2 - V_{кр\text{ вл}}^2)/gH$  для исследуемых почв в воздушно-сухом и капиллярно-увлажнённом состоянии. Методика определения показателей  $1/\gamma$  и  $C$ , как пример, приведена на рисунках 5 и 6. По уравнению линейного тренда вида  $y=kx+b$  для каждого варианта модельных экспериментов находили эмпирический показатель степени  $1/\gamma$ , как показатель тангенса угла наклона линии и эмпирический коэффициент  $C$  – натуральный антилогарифм от свободного члена в уравнении линии тренда.

Графический анализ показал, что при линейной аппроксимации зависимостей  $\ln B$  от  $\ln(V^2 - V_{кр\text{ вл}}^2)/gH$  коэффициенты аппроксимации ( $R^2$ ) были достаточно высоки (от 0,72 для слабосмытой капиллярно-увлажненной почвы до 0,98 для среднесмытой воздушно-сухой почвы). Это означает, что выполненная аппроксимация имеет достаточно удовлетворительную достоверность. Имея значения  $C$  и  $1/\gamma$ , по уравнению 1 рассчитывали транспортирующую способность потока  $\beta$  (кг/м<sup>3</sup>) и находили относительную ошибку по модулю ( $|P|$ , %) между экспериментально полученными значениями мутности ( $B$ ) и рассчитанными по уравнению 1.

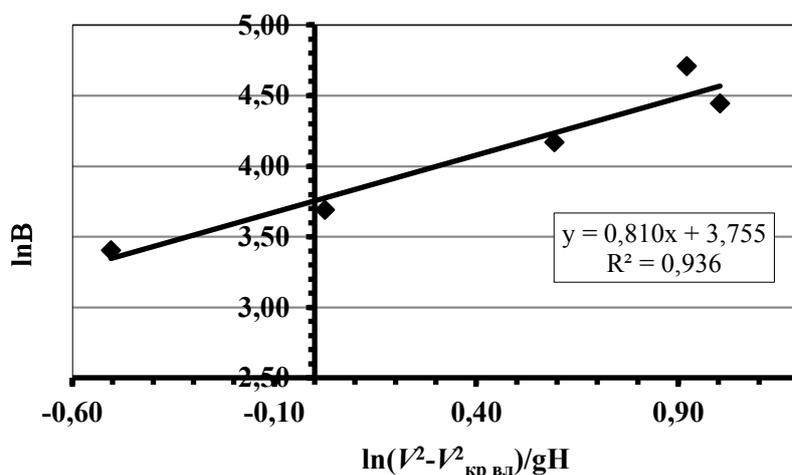


Рис. 5 – Зависимость  $\ln B$  от  $\ln(V^2 - V_{кр\text{ вл}}^2)/gH$  на примере несмытой почвы (воздушно-сухое состояние).

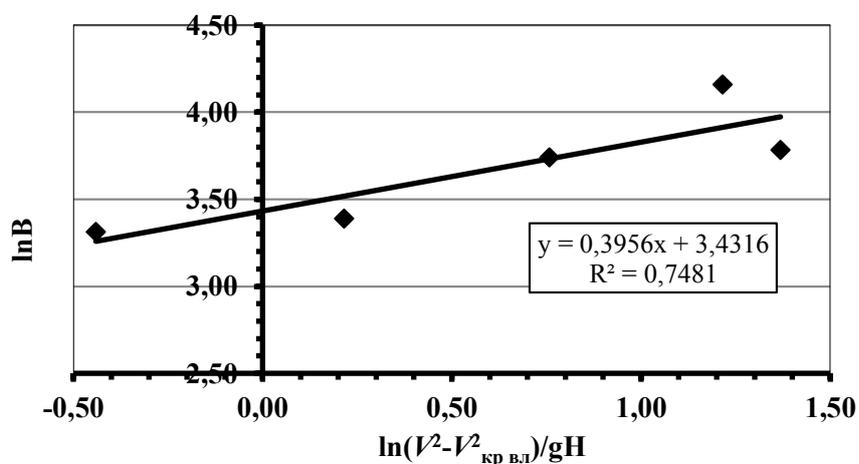


Рис. 6 – Зависимость  $\ln B$  от  $\ln(V^2 - V_{кр\text{ вл}}^2)/gH$  на примере несмытой почвы (капиллярно-увлажненное состояние).

Анализ логарифмирования результатов, полученных для несмытой почвы, подаваемой в лоток в воздушно-сухом и капиллярно-увлажнённом состоянии показывает следующее. Наблюдается более тесная коррелятивная связь данных с почвой в воздушно-сухом состоянии ( $r=0,81$ ) по сравнению с капиллярно-увлажнённой –  $r=0,69$  (табл. 3).

Коррелятивная связь в экспериментах со слабосмытой почвой в обоих вариантах поступления почвы в водный поток, показали хорошую сходимость ( $r=0,88-0,83$ ), но относительная ошибка составила, соответственно, 31,6 и 16,4 %.

Результаты экспериментов со среднесмытой дерново-подзолистой почвой, так же показали достаточно высокую коррелятивную связь. Коэффициент корреляции  $r=0,99-0,80$  (табл. 3).

Результаты логарифмирования данных, полученных для средненамытой почвы, также показали хорошую сходимость ( $r=0,92$ ).

Анализ полученных значений  $\beta$  и имеющихся данных по экспериментально определенной мутности потока В ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) показал, что относительная ошибка этих расчетов варьирует от 12,9 % до 31,6 %, среднее её значение – 18,4 % (табл.3). Это свидетельствует о том, что сопоставление этих значений, установленных экспериментальным и расчётным методами, показывает удовлетворительное их соответствие.

*Таблица 3 – Показатели, определённые в модельном эксперименте*

Почва	$C$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$1/\gamma$	$ P $ , %	$r$
Несмытая				
воздушно-сухая	42,73	0,81	20,7	0,81
капиллярно-увлажненная	30,93	0,40	16,2	0,69
Слабосмытая				
воздушно-сухая	48,13	1,27	31,6	0,88
капиллярно-увлажненная	19,14	0,50	16,4	0,83
Среднесмытая				
воздушно-сухая	42,18	0,66	13,8	0,99
капиллярно-увлажненная	78,34	0,73	18,8	0,80
Средненамытая				
воздушно-сухая	12,76	0,36	12,9	0,92
капиллярно-увлажненная	31,25	0,51	16,7	0,92
Среднее			18,4	0,86

*Примечание.  $C$  – эмпирический коэффициент;  $1/\gamma$  – эмпирический показатель степени;  $|P|$  – относительная ошибка по модулю;  $r$  – коэффициент корреляции.*

Таким образом, на примере дерново-подзолистых почв разной степени смытости и намытости в ходе наших исследований было показано, что для расчета транспортирующей способности потоков малой глубины, действующих на эти почвы, можно использовать уравнение, разработанное на кафедре эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ (Гендугов и др., 2007).

### **Заключение**

Анализ агрегатного состава почвы в исходном состоянии показал, что средневзвешенный диаметр агрегатов зависит от степени её смытости. Наблюдается уменьшение средневзвешенного диаметра от несмытой к среднесмытой почве.

Установлено, что содержание гумуса в дерново-подзолистой почве оказывает влияние на её агрегатный состав. Средневзвешенный диаметр агрегатов при фракционировании воздушно-сухой и капиллярно-увлажнённой дерново-подзолистой почвы уменьшается с уменьшением содержания гумуса.

Количество транспортируемого почвенного материала в значительной степени будет зависеть и от исходного состояния почвы (воздушно-сухое или увлажненное) до начала работы водного потока. В увлажненной почве в исходном её состоянии, количество и диаметр водопрочных агрегатов выше по сравнению с воздушно-сухой. Это, при прочих равных условиях, требует больших скоростей для перемещения одинакового объёма почвенного материала.

В модельных экспериментах на большом эрозионном лотке установлено, что средневзвешенный диаметр влекомых агрегатов увеличивался с возрастанием скорости потока, а диаметр отложившихся – уменьшался.

На основании данных, полученных в модельных экспериментах, определены значения эмпирического коэффициента (С) и эмпирического показателя степени ( $1/\gamma$ ), необходимые для верификации ранее разработанного экспериментально-теоретического уравнения транспортирующей способности водного потока.

Проведена верификация уравнения применительно к дерново-подзолистым почвам разной степени смывости и намытости. Сопоставление полученных экспериментально и рассчитанных по уравнению значений мутности показало удовлетворительное соответствие. Средняя относительная ошибка по модулю составила 18,4 %, а коэффициент корреляции – 0,86.

### Список литературы

1. Алексеевский Н.И., Чалов Р.С. Движение наносов и русловые процессы. М.: МГУ, 1997. –170 с.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. –416 с.
3. Гендугов В.М., Глазунов Г.П. О единстве механизмов водной и ветровой эрозии почвы. Почвоведение. 2009, №5. С. 598– 605.
4. Гендугов В.М., Кузнецов М.С., Абдулханова Д.Р., Ларионов Г.А. Модель транспорта наносов склоновыми потоками. Вестн. Моск. Ун-та. Сер.17. Почвоведение. 2007. №1. С. 35-40.
5. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977.– 224 с.
6. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004.– 352 с.
7. Практикум по агрохимии. Учеб. пособие, - 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001.– 689 с.
8. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
9. Demidov V.V. Transport capacity of small depth of flows to transfer soil material. In: *Proceedings of VI International scientific-practical conference “The Strategies of Modern Science Development”*, 17-18 April 2014. North Charleston: CreateSpace, USA, 2014. PP. 22-25.

10. Rao S.M., Prasad S.N., Romkens M.J.M. Post siltation sediment transport by shallow super critical flows. *In: Proceeding of the 10<sup>th</sup> International Symposium on River Sedimentation. August 1-4, 2007. Moscow, Russia. Vol.1, 2007. PP. 340-347.*

## Spisok literatury

1. Alekseevskij N.I., Chalov R.S. Dvizhenie nanosov i ruslovyje processy. M.: MGU, 1997. –170 s.
2. Vadjunina A.F., Korchagina Z.A., Metody issledovanija fizicheskikh svojstv pochv. M.: Agropromizdat, 1986. –416 s.
3. Gendugov V.M., Glazunov G.P. O edinstve mehanizmov vodnoj i vetrovoj jerozii pochvy. *Pochvovedenie. 2009, №5. S. 598– 605.*
4. Gendugov V.M., Kuznecov M.S., Abdulhanova D.R., Larionov G.A. Model' transporta nanosov sklonovymi potokami. *Vestn. Mosk. Un-ta. Ser.17. Pochvovedenie. 2007. №1. S. 35-40.*
5. Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR. M.: Kolos, 1977.– 224 s.
6. Kuznecov M.S., Glazunov G.P. Jerozija i ohrana pochv: Uchebnik. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Izd-vo MGU, Izd-vo «KolosS», 2004.– 352 s.
7. Praktikum po agrohimii. Ucheb. posobie, - 2-e izd., pererab. i dop. / Pod red. akad. RASHN V.G. Mineeva. – M.: Izd-vo MGU, 2001.– 689 s.
8. Chebotarev A.I. *Gidrologicheskij slovar'. L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 308 s.*
9. Demidov V.V. Transport capacity of small depth of flows to transfer soil material. *In: Proceedings of VI International scientific-practical conference “The Strategies of Modern Science Development”, 17-18 April 2014. North Charleston: CreateSpace, USA, 2014. PP. 22-25.*
10. Rao S.M., Prasad S.N., Romkens M.J.M. Post siltation sediment transport by shallow super critical flows. *In: Proceeding of the 10th International Symposium on River Sedimentation. August 1-4, 2007. Moscow, Russia. Vol.1, 2007. PP. 340-347.*