

УДК 631.3

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ
НА ТЕРРИТОРИИ СХПК «ТРУД» БАТЫРЕВСКОГО РАЙОНА
ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ***

**RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF HYDRO-PHYSICAL
AND EROSION PROPERTIES OF SOILS ON THE TERRITORY
OF AGRICULTURAL SOCIETY «TRUD» OF BATYREVSKY DISTRICT
IN THE CHUVASH REPUBLIC**

**С. А. Васильев¹, И. И. Максимов¹, Е. П. Алексеев¹, И. В. Сякаев¹,
А. А. Васильев², А. А. Петров¹, В. В. Алексеев³**

**S. A. Vasilyev¹, I. I. Maksimov¹, E. P. Alekseev¹, I. V. Syakaev¹,
A. A. Vasilyev², A. A. Petrov¹, V. V. Alekseev³**

¹ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Чебоксары

²ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»,
Нижегородская область, г. Княгинино

³Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНО ВПО ЦС РФ
«Российский университет кооперации», г. Чебоксары

Аннотация. Экспериментальные исследования по определению гидрофизических и эрозийных параметров почв проводились в СХПК «Труд» Батыревского района Чувашской Республики на территории площадью более 400 га. Разработаны методики и технические средства для определения гидрофизических и эрозийных показателей почвы: потенциала эрозийной стойкости, коэффициента гидравлической шероховатости, пористости и коэффициента фильтрации. Представлены результаты полевых экспериментов, проведенных на участке поля с посевом озимой культуры.

Abstract. The experimental studies on determining hydro-physical and erosion parameters of soils in the area of over 400 hectares were held in the agricultural society «Trud» of Batyrevsky district in the Chuvash Republic. The methods and technical means for determining hydro-physical and erosion parameters of soil (potential of erosion resistance, coefficient of hydraulic roughness, porosity and permeability coefficient) have been developed. The article presents the results of field experiments conducted in the field where the winter crops have been sown.

Ключевые слова: потенциал эрозийной стойкости, стокоформирующая поверхность, коэффициент гидравлической шероховатости, пористость, коэффициент фильтрации, технические средства оценки.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 13-05-97048-р_поволжье_a.

Keywords: *potential of erosion resistance, runoff forming surface, coefficient of hydraulic roughness, porosity, permeability coefficient, technical assessment tools.*

Актуальность исследуемой проблемы. В Российской Федерации под воздействием водной эрозии находится более 45,0 % пахотных земель, в Чувашской Республике – 81,3 %. Водная эрозия вызывает сокращение площадей, удобных для сельскохозяйственного использования, снижение их плодородия, ухудшение экологической обстановки и структуры почв, что в целом приводит к снижению продуктивности сельского хозяйства. С каждым годом действия эрозионных процессов на территории России приводят к увеличению на 400...500 тыс. га эродированных земель, более 10 тыс. га пашни ежегодно разрушаются оврагами. Общая площадь оврагов составляет более 2,5 млн га. Максимальная скорость развития оврагов на территории Чувашии, Татарстана, Саратовской и Пермской областей и Алтайского края достигает 15,0–25,0 м/год и более, тогда как средняя многолетняя скорость образования оврагов на землях сельскохозяйственного назначения центра России составляет 1,0–1,5 м/год [6].

В настоящее время известно множество способов и приемов, позволяющих существенно уменьшить потери от эрозионных процессов путем организационно-хозяйственного планирования эрозионно-опасных земель, применения агротехнических технологий, лесо- и гидромелиоративных способов защиты. Однако далеко не всегда мероприятия на конкретных стокоформирующих поверхностях достигают своей цели, поскольку разработчики этих мероприятий имеют дело с почвой – средой, характеристики которой весьма неопределенны и изменчивы в пространстве и во времени. Следовательно, расчеты, проводимые при проектировании и планировании противоэрозионных технологий, являются в той же мере неопределенными. Успех в этом деле основывается на опытах прошлых лет, а не на расчетных показателях, что приводит к высоким экономическим затратам.

Отсюда решение задач при проектировании противоэрозионных технологий и технических средств заключается в отыскании объективных параметров, которые удовлетворяли бы требованиям практики, и в разработке приемлемых способов их определения.

Материал и методика исследований. Экспериментальные исследования по определению гидрофизических и эрозионных характеристик почвы – потенциала эрозионной стойкости (ПЭС), коэффициента гидравлической шероховатости, пористости и коэффициента фильтрации – в полевых условиях проводились на территории площадью более 400 га с разными агрофонами в СХПК «Труд» Батыревского района Чувашской Республики. Схема расположения экспериментальных точек на поле с посевами озимой культуры приведена на рис. 1. С помощью программы «Google Планета Земля» на схеме отражен исследуемый участок 40х40 м с координатами его месторасположения.

Определение ПЭС заключается в некотором отличии физико-механических и гидрофизических свойств почв в местах естественного залегания от параметров, определяемых на монолитах и насыпных (просеянных через сито) образцах в лабораторных условиях.

Для определения ПЭС при полевых исследованиях используется устройство, общий вид которого представлен на рис. 2а. Устройство работает следующим образом [6]. До проведения опытов предварительно с помощью ручного воздушного насоса в пневмоаккумулятор закачивается воздух с избыточным давлением, а резервуар заполняется водой. После чего форсунка, смонтированная на подставке, фиксируется на исследуемом

участке почвы в вертикальном положении. С помощью трехходового крана в баллоне устанавливается необходимое давление $p_в$. После чего при нажатии клапана через гибкие соединительные трубопроводы и форсунку на исследуемый участок почвы впрыскивается струя воды. При этом в баллоне с помощью регулировочного крана поддерживается постоянное, предварительно заданное давление $p_в$. Через заданный промежуток времени t при помощи клапана прекращается подача воды в форсунку.

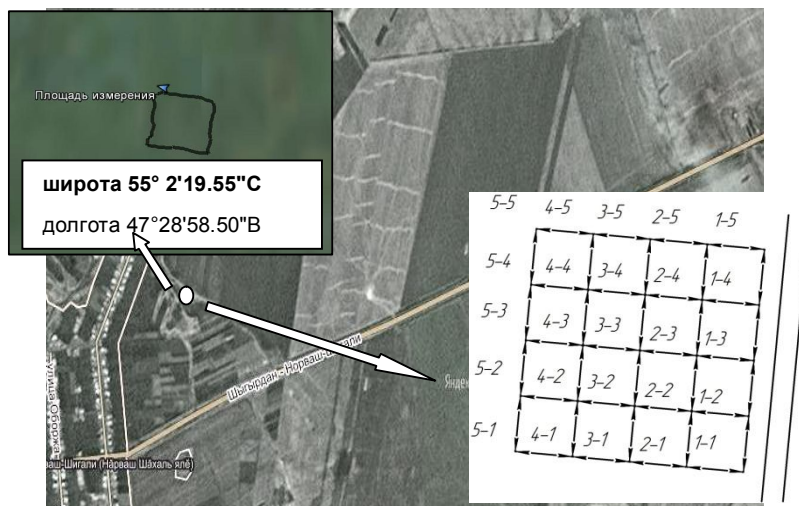


Рис. 1. Схема расположения экспериментальных точек на поле с посевами озимой культуры

В образовавшуюся выемку после инфильтрации влаги из бюретки со шкалой деления засыпается предварительно откалиброванный сыпучий материал (для полевых опытов применяли высушенный и просеянный через сито с круглыми отверстиями 0,5 мм песок древнеаллювиальных отложений), по объему которого определяется объем выемки. Также необходимо определить массу почвогрунта в единице объема, для чего отбирают пробы естественного сложения. Найденные значения параметров подставляют в формулу

$$\psi_n = \frac{\pi d^2 t \mu^3 \sqrt{2P_в^3}}{\rho_в \left(4V_n \rho_n \rho_в^{-0,5} k_{сум} + \pi d^2 t \mu \sqrt{2P_в} \right)}, \quad (1)$$

где $p_в$ – давление воды, вытекающей из емкости за время t ; d – диаметр отверстия форсунки; $\rho_в, \rho_n$ – объемная масса воды и масса почвы; V_n – объем разрушенной почвы, или объем каверны; $k_{сум}$ – коэффициент, учитывающий совокупное влияние нисходящего и восходящего потоков, перемешивания, пульсации и аэрации потока жидкости на объем V_n перерабатываемого почвогрунта (по данным, полученным в лабораторных и полевых условиях $k_{сум} = (0,9 \dots 1,2)10^3$); μ – постоянная прибора, определяемая путем его тарировки и равная 0,533, и вычисляются численные значения ψ_n .

Для измерения безразмерного показателя – коэффициента гидравлической шероховатости в полевых условиях разработано устройство [5], [7], [8]. На рис. 2б показан общий вид устройства для определения безразмерного показателя в полевых условиях [4].

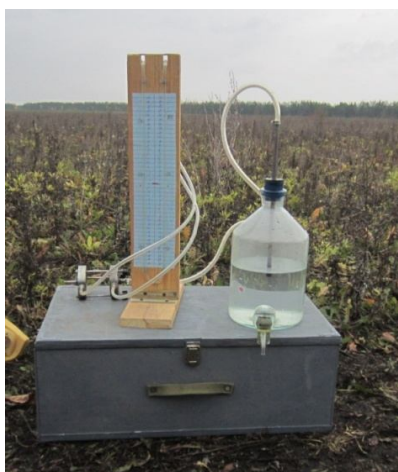
Предварительно перед началом опытов при помощи компрессора в ресивере создается избыточное давление. Исследуемую поверхность водонасыщают (например, дождеванием) для заполнения подпочвенного пространства. Тонкостенный стакан размещается над поверхностью исследуемого участка путем внедрения штыря в почву и вращается до касания с ней. Затем регулируемым транспортером устанавливается нулевая отметка с тонкостенным стаканом.



а



б



в



г

Рис. 2. Технические устройства для измерения в полевых условиях: а) ПЭС; б) коэффициента гидравлической шероховатости; в) коэффициента фильтрации; г) пористости

После чего заданное низкое давление воздуха подается в трубу через отверстия к тонкостенному стакану. Во время опыта считают число полных оборотов и угол отклонения действительного положения тонкостенного стакана (нулевая отметка) по регулируемому транспортеру в градусах. Высота неровностей определяется по формуле

$$\Delta = s \left(\kappa + \frac{\gamma}{360} \right), \quad (2)$$

где Δ – высота неровностей стокоформирующей поверхности, м; s – шаг резьбы, м; k – число полных оборотов тонкостенного стакана; γ – угол, определяемый на регулируемом транспортере по нулевой отметке на тонкостенном стакане.

Далее полученные данные подставляются в выражение

$$\varphi = (n + p) \text{Re} + p \text{Re}_{\text{кр}}, \quad (3)$$

где φ – безразмерный показатель в полевых условиях; n и p – коэффициенты, зависящие от шероховатости водонасыщенного почвогрунта и от режима движения (для ламинарного движения потока $p=0$), определяемые по тарировочной зависимости [8]; Re – расчетное значение числа Рейнольдса; $\text{Re}_{\text{кр}}$ – критическое число Рейнольдса. В зависимости от формы поперечного сечения и других условий для открытых потоков на склонах $\text{Re}_{\text{кр}} = 300 \dots 700$ [4].

Определение коэффициента фильтрации проводилось методом аэрогидродинамического подобия, прибором, разработанным в лаборатории гидрофизики и эрозии почв при ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия» [1], [2] и представленным на рис. 2в.

Порядок эксперимента следующий. Предварительно подготовленную установку без образца приводят в рабочее состояние открытием крана. Уровень воды в сосуде поддерживают не ниже нижнего среза трубки, благодаря чему расход воды через кран постоянен. Скорость истечения воды определяется разностью уровней ΔH между нижними краями патрубка и крана. Регулировка расхода производится изменением уровня ΔH и тем, насколько открыт кран. Полученная разность значений манометра Δh_1 есть постоянная прибора при этом расходе, определяемая его размерами и конструкцией.

Далее берут образец почвогрунта ненарушенного сложения и устанавливают его в удерживающую камеру, герметизируют и открывают кран до положения, при котором определяли постоянную прибора. Проводят замер расхода воды, когда будет достигнуто постоянство расхода, которое определяется по фиксированной разности значений Δh_2 манометра. Для отбора пробы почвогрунта естественного сложения применяется специальный бур-пробоотборник.

На рис. 2г показан общий вид устройства для определения пористости почвы в полевых условиях [1]. Методика определения пористости почвы заключается в следующем. Образец ненарушенной почвы определенного объема V_0 закладывают в контейнер объемом V_1 , имеющим возможность сообщения через краны с вакуумным насосом, вакуумметром или атмосферой. Через второй выход вакуумметр дополнительно посредством крана соединяется со вторым контейнером, имеющим объем V_2 . Также второй контейнер имеет возможность соединения с вакуумным насосом или атмосферой. Данные контейнеры герметичны. При этом если в контейнере отсеченный кранами с пробой почвы создать разрежение p_2 , а в контейнере и порах пробы установить значение p_1 , которое равно давлению атмосферы, и далее соединить контейнеры, то произойдет расширение воздуха из пор в первом и втором контейнерах и установится общее для системы давление p .

Работа выполняется в следующей последовательности. Используя бур-пробоотборник отбираем пробу с почвенным образцом и закладываем в контейнер. Данный контейнер необходимо загерметизировать, создать в нем разрежение и выдержать так в течение пяти минут для того, чтобы частично ликвидировать жидкость, запирающую воздух, которым наполнены тупиковые поры. Перекладываем образец пробы в контейнер, который также необходимо загерметизировать, создаем разрежение в контейнере

и выдерживаем так около двух минут. Затем сообщаем контейнер с образцом со вторым контейнером, фиксируя величину давления p_2 во время соединения и величину давления p^* , как только колебания стрелки вакуумметра прекратятся.

Освобождаем контейнер, производим замену пробы на непористую пробу. Выполняем повторно фиксирование колебаний значений вакуумметра, в итоге определяем величину давления p^* для искомой величины p_2 .

Рассчитываем объем пор, после определения влажности – объем занимаемой воды в образце V_p , общий объем пор и пористость.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты полевых экспериментальных исследований по определению ПЭС и коэффициента гидравлической шероховатости на опытном поле СХПК «Труд» представлены в табл. 1. Параметры эрозионных характеристик почвы замерялись три раза в одной точке.

Большая трудоемкость операций по определению гидрофизических свойств почвы позволила получить только средние значения результатов обработки данных по пористости и коэффициенту фильтрации $0,457 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и $4,89 \times 10^{-5} \text{ м/с}$ соответственно при плотности почвы $1,392 \text{ г/см}^3$.

Таблица 1

Результаты полевых экспериментальных исследований по определению ПЭС и коэффициента гидравлической шероховатости на опытном поле СХПК «Труд»

№№ точек по рис. 1	Агрофон, поле	Статистическая оценка точности измерений показателей ψ					Статистическая оценка точности измерений показателей ϕ				
		M , Дж/кг	σ , Дж/кг	m , Дж/кг	p	ν	A	σ	m	p	ν
1-1	Посевы озимых	1,96	0,43	0,4	0,20	0,21	0,23	0,08	0,06	0,26	0,35
1-2		2,08	1,00	0,78	0,37	0,47	0,22	0,08	0,03	0,14	0,36
1-3		1,36	0,36	0,27	0,19	0,26	0,19	0,09	0,04	0,21	0,47
1-4		2,24	0,46	0,34	0,15	0,20	0,21	0,11	0,08	0,38	0,52
1-5		2,39	0,59	0,46	0,19	0,24	0,21	0,10	0,06	0,29	0,48
2-1		2,35	0,28	0,26	0,11	0,11	0,23	0,08	0,07	0,3	0,35
2-2		1,84	0,41	0,36	0,19	0,22	0,19	0,09	0,06	0,32	0,47
2-3		0,85	0,7	0,56	0,66	0,81	0,22	0,10	0,04	0,18	0,45
2-4		1,16	0,56	0,43	0,37	0,48	0,22	0,07	0,06	0,27	0,32
2-5		1,4	0,54	0,46	0,31	0,37	0,22	0,09	0,06	0,27	0,41
3-1		0,64	0,15	0,12	0,18	0,22	0,22	0,05	0,02	0,09	0,23
3-2		2,63	1,23	1,11	0,42	0,46	0,22	0,11	0,07	0,32	0,5
3-3		2,63	1,07	0,84	0,32	0,40	0,23	0,06	0,03	0,13	0,26
3-4		0,89	0,38	0,33	0,37	0,42	0,21	0,06	0,04	0,19	0,29
3-5		1,14	0,54	0,41	0,36	0,46	0,22	0,05	0,02	0,09	0,23
4-1		2,51	0,81	0,64	0,25	0,32	0,22	0,09	0,06	0,27	0,41
4-2		1,02	0,53	0,47	0,46	0,52	0,23	0,08	0,04	0,17	0,35
4-3		1,84	0,41	0,36	0,19	0,22	0,23	0,05	0,01	0,04	0,22
4-4		1,19	0,46	0,4	0,33	0,38	0,23	0,11	0,04	0,17	0,48
4-5		0,64	0,15	0,12	0,18	0,22	0,23	0,08	0,04	0,17	0,35
5-1		2,11	1,4	1,27	0,59	0,65	0,19	0,09	0,07	0,37	0,47
5-2		2,39	0,59	0,46	0,19	0,24	0,23	0,08	0,04	0,17	0,35
5-3		1,36	0,36	0,27	0,19	0,26	0,23	0,11	0,04	0,17	0,48
5-4		0,85	1,49	0,40	0,47	0,55	0,22	0,09	0,01	0,05	0,41
5-5		2,08	1,00	0,78	0,37	0,47	0,22	0,11	0,07	0,32	0,5

Примечание: M – среднее арифметическое значение ψ ; σ – среднее квадратичное отклонение; m – средняя ошибка среднего арифметического; $p = m/M$ – показатель точности; $\nu = \sigma/M$ – коэффициент вариации; A – среднее арифметическое значение ϕ .

С целью улучшения гидрофизических и эрозионных показателей почвы необходимо использовать современные способы посева зерновых культур, например совместить предпосевную обработку почвы с посевом [3], что позволит уменьшить количество проходов агрегата по полю и воздействие на почву рабочих органов сельскохозяйственных машин в целом.

Результаты экспериментальных исследований показали (табл. 1), что величина ПЭС и коэффициент гидравлической шероховатости характеризуются пространственной изменчивостью в зависимости от показателей почвенного покрова в пределах однородного участка, как это видно из статистической обработки данных измерений.

Резюме. На основании разработанных методик и технических средств их реализации определены гидрофизические и эрозионные свойства почвы в полевых условиях на территории более 400 га опытного полигона СХПК «Труд» Батыревского района Чувашской Республики. Для улучшения гидрофизических и эрозионных показателей почвы рекомендуется использовать современные способы посева зерновых культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев, В. В.* Аэродинамический метод получения основной гидрофизической характеристики почв / В. В. Алексеев, И. И. Максимов // Почвоведение. – 2013. – № 7. – С. 822–828.
2. *Алексеев, В. В.* Разработка метода и средств комплексного контроля за воздействием на почву почвообрабатывающих машин и орудий : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / В. В. Алексеев. – Чебоксары, 2002. – 20 с.
3. *Алексеев, Е. П.* Повышение качества подпочвенного разбросного посева / Е. П. Алексеев, С. А. Васильев, В. И. Максимов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 12. – С. 8–9.
4. *Васильев, С. А.* Совершенствование методики проектирования и технических средств оценки противозерозионных технологий на склоновых землях : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / С. А. Васильев. – Чебоксары, 2006. – 19 с.
5. *Васильев, С. А.* Теоретические предпосылки аналитического определения смоченного периметра стокоформирующей поверхности / С. А. Васильев, А. Ю. Пагунов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2012. – № 4 (76). – С. 47–50.
6. *Максимов, И. И.* Прогноз эрозионных процессов, техника и технология для обработки склоновых земель : автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 05.20.01 / И. И. Максимов. – Чебоксары, 1996. – 37 с.
7. *Максимов, И. И.* Безразмерный показатель для оценки гидравлических потерь на трение в руслах разной шероховатости / И. И. Максимов, С. А. Васильев, В. И. Максимов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 40–42.
8. *Патент 2345323* Российская Федерация. Способ определения коэффициента гидравлической шероховатости в полевых условиях и устройство для его осуществления / И. И. Максимов, С. А. Васильев, В. И. Максимов, А. А. Васильев ; патентообладатель Чуваш. гос. с.-х. академ. – 2007116595/28 ; заявл. 02.05.07 ; опубл. 02.05.07, Бюл. № 3.