

УДК 631.6:631.459

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-20-37

Г. Г. Гулюк

Журнал «Мелиорация и водное хозяйство», Москва, Российская Федерация

Г. Т. Балакай, А. Н. Бабичев, В. Иг. Ольгаренко, В. А. Монастырский

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

Д. А. Шевченко

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Российская Федерация

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ НОВОГО ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА И МАССЫ ПОЧВЫ, СМЫТОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ

Цель работы – на основании инструментальных полевых исследований установить особенности, закономерности и показатели объема и массы почвы, смытой под действием талых, дождевых (ливневых) и ирригационных вод, необходимые для разработки экспресс-метода определения массы смытой почвы при проявлении процессов эрозии. На эрозию почвы влияют биотические и абиотические факторы: климат, растительность, рельеф, физическое состояние почвы, гранулометрический состав, почвоохранные мероприятия и пр. Для предотвращения эрозии почвы требуется постоянный контроль и мониторинг состояния эродированности земель сельскохозяйственного назначения с целью своевременной разработки и проведения почвоохранных мероприятий. В полевых условиях исследовано 35 объектов (участков земель) с проявлением эрозии почвы в Ростовской области и Ставропольском крае. Математическая и статистическая обработка данных позволила выявить закономерности развития процессов эрозии почвы, установить места заложения створов и необходимое их количество в промоинах (местах проявления эрозии почвы) для определения показателей глубины, ширины и площади сечения промоины, расчета объема и массы смытой почвы. Установлено, что для получения достоверных данных о массе смытой почвы поперечные створы в промоине необходимо закладывать, начиная от вершины промоины, расстояние между створами не должно превышать 50 м и интервал (шаг) измерений глубины промоины в сечении профиля створа должен быть не более 5–8 см. Данные необходимы для определения площади сечения профиля створа и расчета объема и массы смытой почвы.

Ключевые слова: эрозия, почва, методы определения эрозии, приборы, экспресс-метод определения эрозии, охрана земель.

G. G. Guluk

Journal “Melioration and Water Management”, Moscow, Russian Federation

G. T. Balakay, A. N. Babichev, V. Ig. Olgarenko, V. A. Monastyrskiy

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochechassk, Russian Federation

D. A. Shevchenko

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

TO THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF A NEW EXPRESS METHOD FOR DETERMINING THE VOLUME AND MASS OF SOIL WASHED AWAY AS A RESULT OF WATER EROSION

The purpose of the work is to determine the features, regularities and indices of the soil volume and mass washed away by thawed, rain (storm) and irrigation waters which are necessary for the development of an express method for determining the mass of eroded soil in the course of erosion processes on the basis of instrumental field studies. Soil erosion is affected by biotic and abiotic factors: climate, vegetation, relief, physical condition of soil, granulometric composition, soil conservation measures, etc. To prevent soil erosion constant control and monitoring of agricultural land erosion is necessary to develop and carry out soil conservation measures timely. 35 objects (land plots) with soil erosion in Rostov Region and the Stavropol Territory were investigated under field conditions. Mathematical and statistical data processing made it possible to reveal the development patterns of soil erosion processes, to find the locations of sections and their necessary number in gullies (places of soil erosion) to determine the depth, width and sectional area of the gully and calculate the volume and mass of the washed soil. It has been found to obtain reliable data on the eroded soil mass, transverse sections in gully must be laid starting from its top, the distance between the sections should not exceed 50 m and the interval (step) of measurements of the gully's depth in the profile section should be no more than 5–8 cm. The data are needed to determine the cross-sectional area of the section profile and to calculate the volume and mass of the washed out soil.

Key words: erosion, soil, erosion detection methods, instruments, express method for erosion determination, land conservation.

Введение. Эрозия почвы является одной из основных причин деградации почвы, которая проявляется в виде смыва верхнего слоя почвы водой или сдувания ветром (дефляции). Водная эрозия проявляется на склонах агроландшафтов и особенно опасна на склонах с расчлененным рельефом. На эрозию почвы влияют биотические и абиотические факторы: климат, растительность, рельеф, физическое состояние почвы, гранулометрический состав, обработка почвы, почвоохранные мероприятия и пр.

Для предотвращения эрозии почвы требуется постоянный контроль и мониторинг состояния эродированности почвы [1, 2]. В мировой практике показатели эрозии почвы устанавливаются на основании определения изменения шероховатости поверхности почвы, которое осуществляется различными методами инструментально [3–5], дистанционно [6–9] или с применением ГИС-технологий [10, 11] и моделей, отлаженных для определенных типов почв и климатических условий [12–15]. С целью установления величины шероховатости используются различные приборы и оборудова-

ние, которые позволяют измерить характеристики промоины при эрозии почвы и рассчитать объем и массу почвы, смытой в результате действия талых, дождевых и ирригационных вод. Наиболее известные приборы для осуществления измерений: профилометры [1–3], профилографы [16], лазерные сканеры [17–20], стереофотографометры [21, 22], приборы акустического рассеяния [23] и радиолокационного сканирования [24, 25], радиометры (радиоизотопы) [26] и пр. Для оценки шероховатости разработан пин-метр-метод [27, 28], методы теней [29] и цепи [30].

Наиболее известные в науке и практике методы определения эрозии почвы предназначены для выявления объемов эрозии на стационарных площадках и других объектах с оснащением их приборами и оборудованием, способными осуществлять сбор и учет объема поверхностного стока воды и наносов.

Однако эти методы не отвечают требованиям определения объемов смытой почвы уже после начала проявления процесса эрозии почвы, так как при использовании данных методов приборы и оборудование устанавливаются до начала эрозии и учитываются уже фактические показатели ее проявления в результате действия талых, ливневых и ирригационных вод. В то же время государственные органы, контролирующие соблюдение земельного законодательства, должны определять массу смытой почвы на любых участках земель сельскохозяйственного использования, являющуюся уже следствием водной эрозии.

Для использования в России узаконен в установленном порядке прибор для проведения измерений профиля поверхности почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин, разработанный ФГНУ «РосНИИТиМ», – профилометр почвы ИП-250, который можно использовать и для измерения профиля поверхности почвы при проявлении эрозии почвы. Однако этот метод имеет низкую производительность, требуются большие трудозатраты на измерение и обработку полученных данных. В связи с этим в ФГБНУ

«РосНИИПМ» провели полевые исследования, математическую и статистическую обработку их результатов с целью установления достоверных закономерностей и зависимостей для разработки в дальнейшем нового экспресс-метода точного определения объема и массы почвы, смытой в результате водной эрозии под действием талых, дождевых и ирригационных вод.

Материалы и методы. Исследования проводились на землях сельскохозяйственного назначения в Октябрьском, Аксайском, Мартыновском районах Ростовской области и Изобильненском, Предгорном и Новоалександровском районах Ставропольского края (данные по Ставропольскому краю в статье не приводятся, но они были использованы при статистических расчетах). Почвы представлены черноземами в Октябрьском, Аксайском, Изобильненском, Новоалександровском и Предгорном районах и темно-каштановыми в Мартыновском районе.

Основной метод изучения поверхностного стока – комплексные полевые наблюдения [1, 2]. Такие наблюдения проводятся на специально оборудованных стационарных стоковых площадках, а также на малых водосборах ручьев, балок, логов и оврагов. В наших полевых инструментальных исследованиях изучались процессы эрозии не на стационарных площадках, а на объектах (местах) проявления эрозии почвы в результате действия талых, дождевых (ливневых) и ирригационных вод на зяби и на уплотненных посевах сельхозугодий.

Эрозия почвы в результате действия талых вод и осадков, выпадающих в период таяния снега, определялась в конце марта и в апреле 2017 г. Эрозия в результате действия ливневых вод и ирригационная определялись в весенний и летний периоды (май – июнь). Результаты полевых инструментальных исследований подвергались математическому и статистическому анализу по общепринятым методикам, и были получены коэффициенты аппроксимации, свидетельствующие о достоверности полученных данных.

Для получения наиболее достоверных данных на тальвеге промоины,

начиная от вершины, обозначались места расположения створов для измерения площади их сечения и объема смытой почвы. Для определения уклона участка и длины тальвега промоины на выбранных объектах использовался тахеометр. Колышками через каждые 5 м были отмечены места створов, сечения которых расположены под углом 90° к тальвегу промоины. В качестве примера на рисунке 1 приводится схема расположения створов на объекте № 1 при инструментальном исследовании эрозии.



Рисунок 1 – Схема расположения створов и размеры промоины на объекте № 1, образовавшейся в процессе эрозии под действием талых вод

На рисунке 1 створы расположены по длине тальвега промоины через каждые 5 м (построено по данным фактических измерений в формате программы Microsoft Office Excel). В каждом створе измерялась ширина верха промоины между правой и левой бровками и глубина промоины по сечению створа через каждые 2 см.

Для наглядности на рисунке 2 приведены фактические показатели поперечного сечения нижнего створа в устье промоины на исследуемом объекте № 1.

Инструментальные измерения размеров промоины проводились

на каждом объекте эрозии с расстоянием 5 м по длине тальвега от вершины и интервалом измерения глубины промоины в сечении створа 2 см. Эти расстояния приняты за стандарт (контроль), как наиболее точные. Для разработки экспресс-метода определения объема и массы смытой почвы необходимо было установить наименьшее количество створов на тальвеге промоины и интервал измерений глубины промоины в сечении створа, обеспечивающие получение достоверных данных. Для этого на каждом из изучаемых объектов промежуточные расстояния между створами увеличивались пошагово, т. е. не 5 м, а на 10 м, затем на 20 м, далее на – 30, 40 м и т. д., пока не оставался один створ в устье промоины.

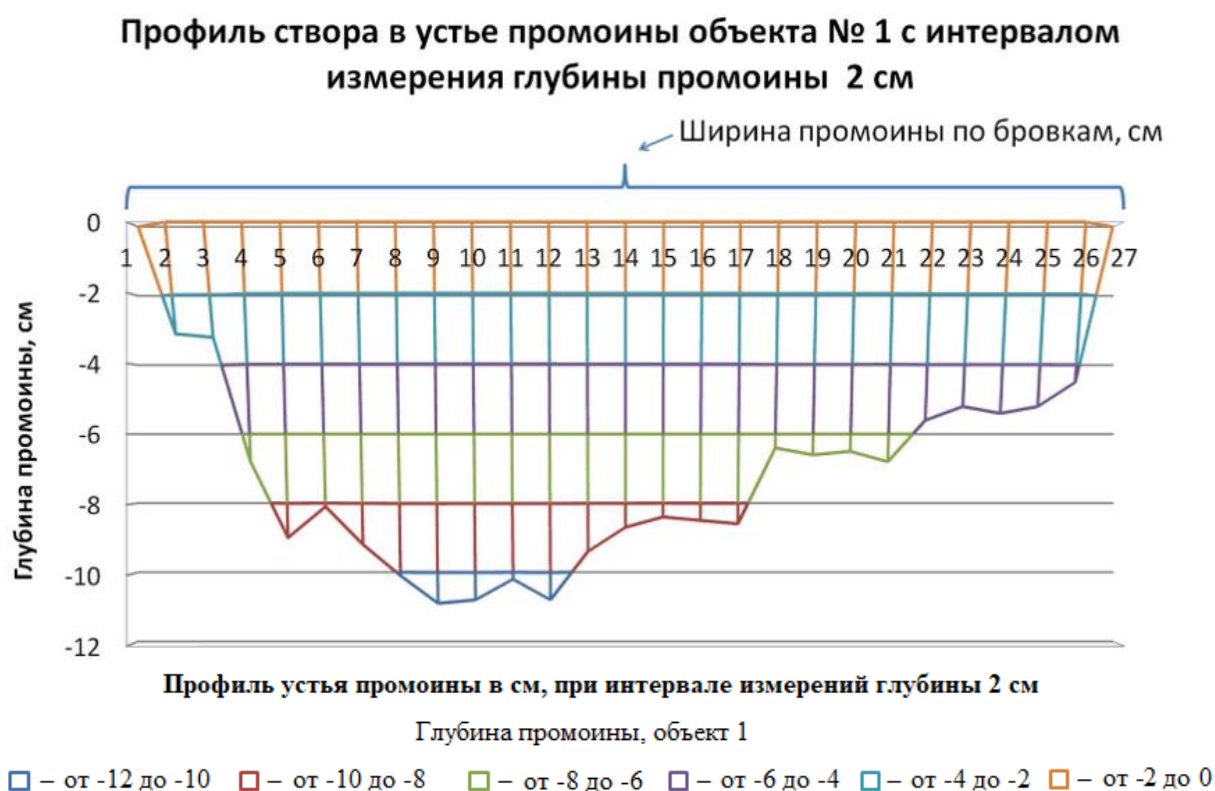


Рисунок 2 – Показатели сечения профиля створа в устье промоины, объект № 1, ООО «Бессергеновское»

Результаты и обсуждение. Было проведено инструментальное исследование 35 объектов (участков) с проявлением фактов эрозии почвы в Ростовской области. В станице Бессергеновской изучено 10 объектов (участков), подверженных эрозии почвы в результате действия талых вод,

на уплотненной (посевах озимой пшеницы) и рыхлой (вспаханной зяби) почве (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели инструментальных полевых исследований промоин при эрозии почвы в результате действия талых вод, ООО «Бессергеновское», 2017 г.

№ объекта	Площадь поля, га	Посевы или зябь	Экспозиция	Уклон	Длина тальвега промоины, м	Ширина устья промоины, см
1	122,2	Озимая пшеница	Северо-запад	0,02–0,025	135	50
2	28,6	Вспашка, зябь	Запад	0,02–0,03	111	75
3	135,4	Озимая пшеница	Запад	0,02–0,025	75	84
4	138,5	Вспашка, зябь	Северо-восток	0,025–0,035	86	51
5	136,7	Озимая пшеница	Север, северо-запад	0,025–0,030	65	47
6	135,2	Озимая пшеница	Север, северо-запад	0,02–0,03	54	67
7	86,4	Вспашка, зябь	Север	0,015–0,02	144	127
8	122,4	Озимая пшеница	Северо-восток	0,015–0,02	36	53
9	130,8	Вспашка, зябь	Запад	0,015–0,02	56	38
10	138,5	Вспашка, зябь	Северо-восток	0,027–0,05	34	29

Полевые исследования, посвященные изучению особенностей эрозии почвы в результате действия дождевых (ливневых) вод, проводились в мае 2017 г. в ОАО «Аксайская Нива» Аксайского района Ростовской области (на объектах № 11–15) (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели инструментальных полевых исследований промоин при эрозии почвы в результате действия дождевых (ливневых) вод, ОАО «Аксайская Нива», май – август 2017 г.

№ объекта	Площадь поля, га	Посевы или зябь	Экспозиция	Уклон	Длина тальвега промоины, м	Ширина устья промоины, см
11	203	Пар	Северо-запад	0,025–0,035	257	158
12	64	Пар	Северо-запад	0,03–0,04	68	87
13	112	Пар	Север	0,015–0,02	124	74
14	87	Пар	Юг	0,03–0,055	75	112
15	64	Пар	Юг	0,025–0,035	87	58

Полевые исследования эрозии почвы и ирригационный сток изучались при орошении дождеванием в ООО «Цимлянское», до и после всходов сои в мае, и в период вегетации сои июнь – июль 2017 год (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели инструментальных полевых исследований промоин при эрозии почвы от ирригационного стока, ООО «Цимлянское» Мартыновского района Ростовской области

№ объекта	Площадь поля, га	Посевы или зябрь	Экспозиция	Уклон	Длина тальвега промоины, м	Ширина устья промоины, см
16	83,4	Соя	Юго-юго запад	0,003–0,025	59	43
17	82,5	Соя	Юго-юго-запад	0,028–0,04	41	66
18	85,6	Соя	Запад	0,02–0,035	67	54
19	84,2	Лен масличный	Север, северо-запад	0,003–0,005	27	32
20	84,5	Чечевица	Северо-восток	0,025–0,035	25	26

Математическая обработка данных по каждому объекту и усредненных сводных позволила установить следующее: образование промоины при водной эрозии почвы в результате действия талых, ливневых и ирригационных вод не имеет каких-либо установленных закономерностей по форме, длине, глубине и ширине; при плоскостной эрозии промоины имеют большую ширину, но небольшую глубину, а при линейной, наоборот, большую глубину и меньшую ширину; длина тальвега промоины зависит от протяженности склона, чем длиннее склон и больше уклон, тем большая вероятность проявления эрозии почвы, большие показатели промоины по ширине и длине тальвега и объем смытой почвы. В связи с этим каждая промоина формируется самостоятельно в зависимости от различных факторов и имеет свои показатели длины, ширины и глубины.

Для использования данных при разработке экспресс-метода определения объемов смытой почвы был проведен сравнительный анализ показателей изменения объемов смытой почвы на всех 35 объектах и установлены достоверные идентичные результаты. В качестве примера приведены данные по объекту № 1 на рисунке 3, при этом кратное увеличение расстояния между створами в тальвеге промоины было от 5 до 135 м.

Изменение объемов смытой почвы от расстояния между створами при интервале измерений в сечении створа 2 см

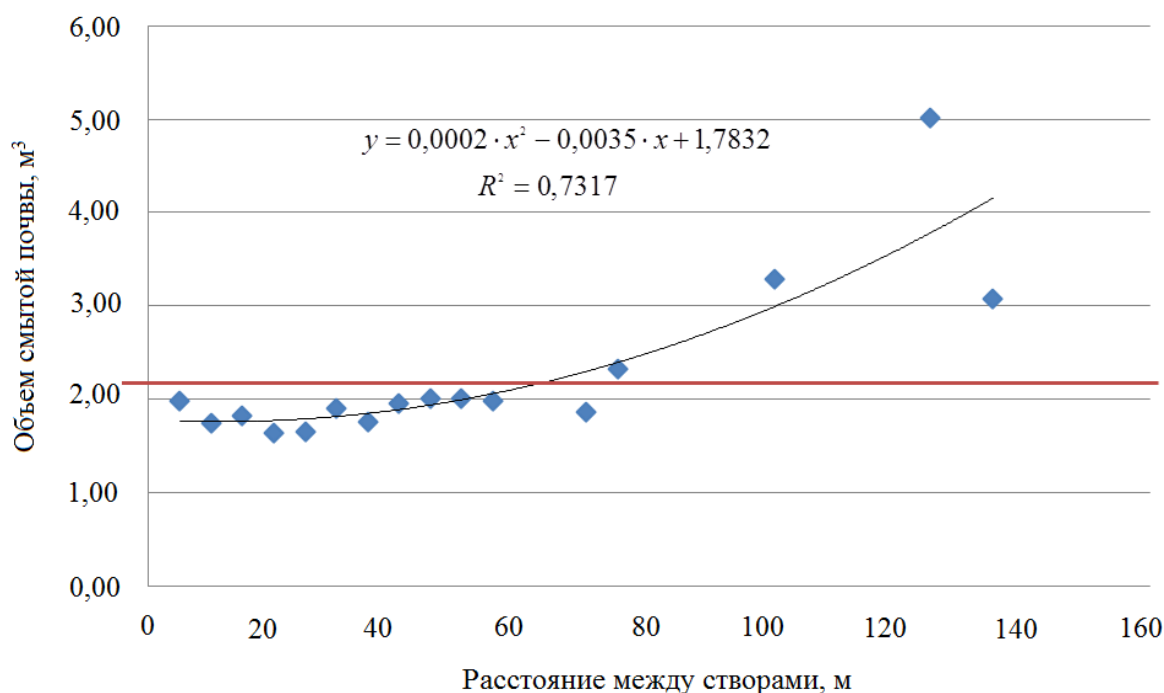


Рисунок 3 – Изменение показателя объема смытой почвы при увеличении расстояния между створами

Кривая показывает, что с увеличением расстояния от вершины промоины до 50–70 м и более происходит резкое отклонение объемов смытой почвы от показателя стандарта (красной горизонтальной линии на рисунке 3) в сторону увеличения, что приводит к значительному снижению точности определений. В результате обработки данных по объекту № 1 и идентичных данных по другим объектам предложено при разработке экспресс-метода измерения объемов смытой почвы расстояние между створами принимать не более 50–70 м.

Похожие изменения происходят и при увеличении интервала измерения глубины промоины в профиле сечения створа (рисунок 4).

Увеличение интервала измерений в сечении профиля створа от 2 до 26 см приводит к увеличению разброса данных. Более высокий коэффициент аппроксимации при построении линии тренда получен при линейной зависимости, который составляет всего $R^2 = 0,13...0,17$, что говорит об отсутствии закономерных связей. В то же время визуально наблюдаются

ся незначительные отклонения от стандарта при изменении интервала между измерениями с 2 до 6–8 см, поэтому была выполнена выборка данных и определены связи между объемами смытой почвы и интервалом измерений в сечении створа от 2 до 8 см (рисунок 5).

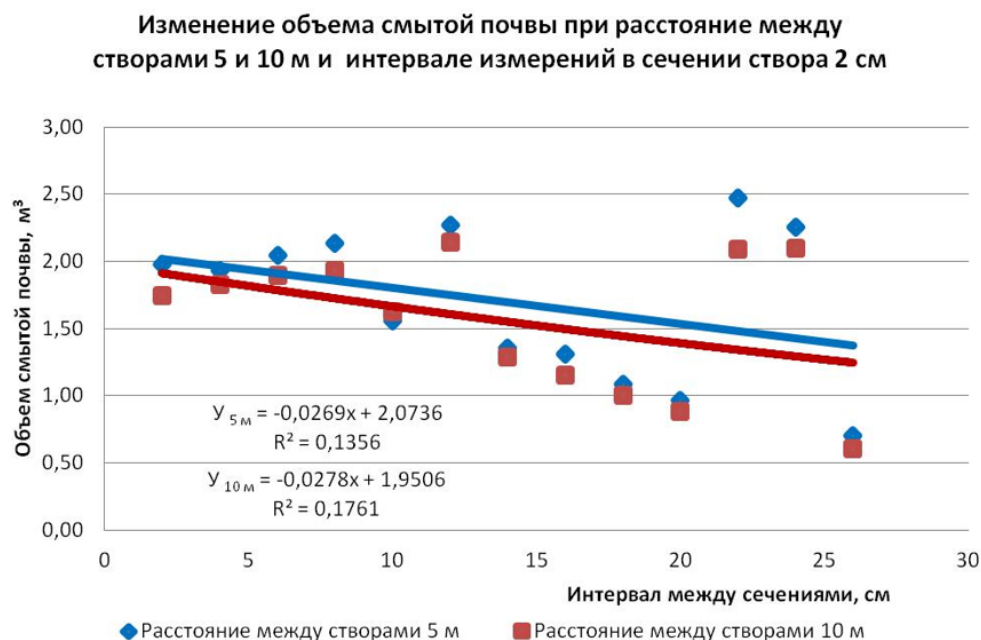


Рисунок 4 – Изменение показателей объема смытой почвы при увеличении интервала измерений глубины промоины в профиле сечения створа (в устье промоины)

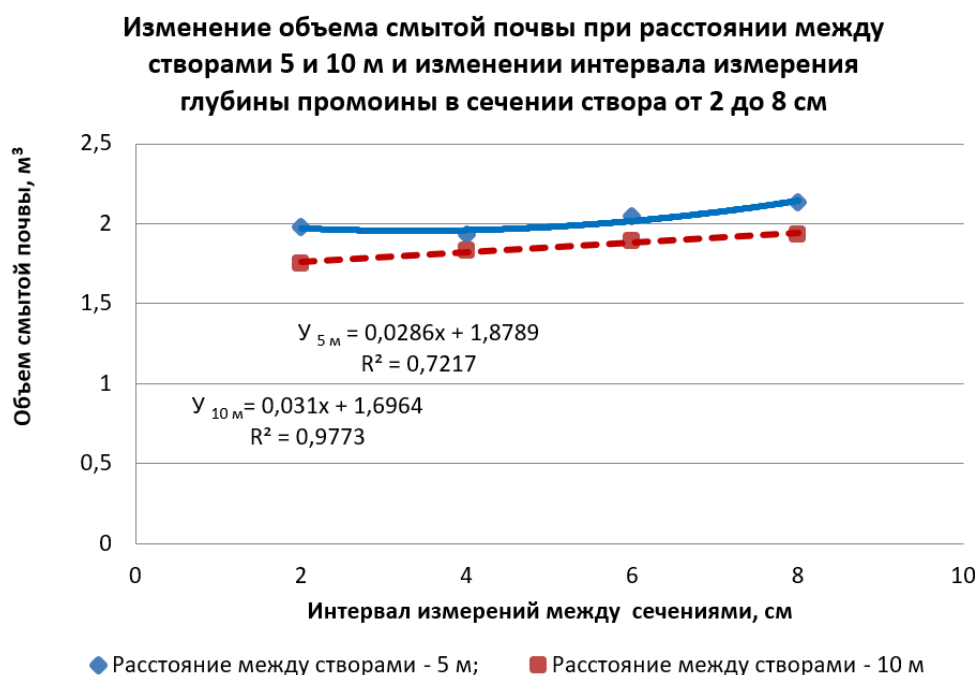


Рисунок 5 – Изменение показателей объема смытой почвы при интервале измерений глубины промоины в сечении створа от 2 до 8 см

Данные показывают, что при интервале измерений в сечении створа от 2 до 8 см наблюдается достоверная закономерность в изменении объема смытой почвы с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,72...0,98$.

Достоверные данные измерений расстояний между створами по длине тальвега промоины можно получить при интервале измерений не более 50–70 м и интервале измерений глубины промоины в сечении профиля створа не более 6–8 см. Эти данные подтверждаются результатами математической и статистической обработки всех исследованных объектов (коэффициенты вариации менее 0,3). На основании полученных данных разработаны показатели, которые рекомендуется использовать при разработке экспресс-метода определения объема и массы смытой почвы (таблица 4).

Таблица 4 – Выбор количества створов по длине тальвега промоины и интервала измерения глубины в профиле сечения промоины для определения объема смытой почвы (не менее указанного количества створов)

Заложение створов по длине тальвега промоины		Интервал измерения глубины промоины в сечении створа	
Длина тальвега промоины L , м	Количество створов по тальвегу промоины (не менее), шт.*	Ширина промоины (B , между бровками), м	Количество измерений (не менее) N_1 , шт.*
0–50	1	0–0,50	6
50–100	2	0,51–1,00	12
101–150	3	1,01–1,50	18
151–200	4	1,51–2,00	25
201–250	5	Более 2,01 м	Через каждые 5–8 см в зависимости от шероховатости дна
251–300	6		
Более 300 м	Через каждые 50 м		

Примечание – * – инструментальные измерения начинаются от вершины промоины и заканчиваются в устье, выполняются через равное расстояние.

Выводы

1 Инструментальные полевые исследования особенностей формирования промоин при эрозии почвы и математическая обработка полученных данных позволили установить следующее:

- промоины, образовавшиеся при водной эрозии почвы в результате действия талых, ливневых и ирригационных вод, не имеют каких-либо

установленных закономерностей в форме и размерах (длине, глубине и ширине промоины);

- при плоскостной эрозии промоины имеют большую ширину, но малую глубину, а при линейной, наоборот, большую глубину и меньшую ширину;

- длина тальвега промоины зависит в большей степени от протяженности склона: чем длиннее склон и больше уклон, тем выше вероятность проявления эрозии почвы и больше объем и масса смытой почвы.

2 На основании математической и статистической обработки данных инструментальных измерений параметров промоины на 35 объектах и расчета объема и массы почвы, смытой в результате действия талых, дождевых и ирригационных вод, установлено, что для получения достоверных данных при разработке экспресс-метода определения объема смытой почвы необходимо закладывать створы начиная от вершины промоины с расстоянием между створами не более 50 м и интервал измерений глубины промоины в сечении профиля створа должен быть не более 6–8 см.

Список использованных источников

1 Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 61 с.

2 Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия: монография / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 450 с.

3 Бутаков, Г. П. Основные задачи изучения современных экзогенных процессов / Г. П. Бутаков // Географические системы: проблемы моделирования и управления. – Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1987. – С. 10–13.

4 Гэбриэлс, Д. Определение потерь почвы и экспериментальные исследования / Д. Гэбриэлс, Дж. Плой // Эрозия почвы. – М.: Колос, 1984. – С. 96–155.

5 Заславский, М. Н. Эрозия почв / М. Н. Заславский. – М.: Мысль, 1979. – 245 с.

6 Каштанов, А. Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии / А. Н. Каштанов. – М.: Россельхозиздат, 1974. – 206 с.

7 Котлярова, О. Г. Ландшафтная система земледелия Центрально-Черноземной зоны / О. Г. Котлярова. – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 1995. – 294 с.

8 Ольгаренко, В. Иг. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного земледелия в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации / В. Иг. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 160–169. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=536>.

9 Ольгаренко, В. Иг. Система прецизионного орошения в условиях сельскохозяйственной мелиорации / В. Иг. Ольгаренко, В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства: материалы междунар. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 7 февр. 2018 г. – Персиановский: ДонГАУ, 2018. – С. 52–55.

10 Формирование изображений дифракционной многоуровневой линзой / Н. Л. Казанский, С. Н. Хонина, Р. В. Скиданов, А. А. Морозов, С. И. Харитонов, С. Г. Волоотовский // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 425–434.

11 National plan of erosion and its control [Electronic resource] / A. H. Charkhabi, M. Arab Khedri, S. Nabi Peye Lashkariyan, F. Iran Manesh. – Mode of access: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IR2015000020>, 2018.

12 Barthes, B. G. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels / B. G. Barthes // European Journal of Trauma and Emergency Surgery. – 2017, May. – Vol. 43, Suppl. 1. – P. 133–149.

13 Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland – some critical considerations / M. Ruttimann, D. Schaub, V. Prasuhn, W. Ruegg // Catena. – 1995, June. – Vol. 25, iss. 1–4. – P. 127–139.

14 Gumiere, J. S. Contribution a la modelisation deterministe spatialisee de l'erosion hydrique des sols a l'echelle des petits bassins versants cultives [Electronic resource] / J. S. Gumiere. – Mode of access: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2014001213>, 2018.

15 Williams, J. R. EPIC: The Erosion-Productivity Impact Calculator [Electronic resource] / J. R. Williams. – Mode of access: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9403696>, 2018.

16 Robichaud, P. R. Measuring soil roughness changes with an ultrasonic profiler [Electronic resource] / P. R. Robichaud, M. Molnau. – Mode of access: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9127399>, 2018.

17 Martinez-Agirre, A. Universal 3D Profilometer [Electronic resource] / A. Martinez-Agirre. – Mode of access: <https://filmetrics.com/profilometers/profilm3d>, 2018.

18 Laser scanner for erosion plot measurements [Electronic resource] / D. C. Flanagan, C. Huang, L. D. Norton, S. C. Parker. – Mode of access: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9556220>, 2018.

19 Daba, S. Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques / S. Daba, W. Rieger, P. Strauss // Catena. – 2003, 1 Jan. – Vol. 50, iss. 2–4. – P. 273–291.

20 Laser scanning systems Z + F [Electronic resource]. – Mode of access: <http://laserscanning-europe.com/en/hardware/terrestrial-laser-scanners/riegl/riegl-laser-scanner>, 2018.

21 Monitoring of Soil Surface under Wind and Water Erosion by Photogrammetry [Electronic resource] / S. Moritani, T. Yamamoto, H. Andry, M. Inoue, T. Nishimura, H. Fujimaki, R. Kimura, H. Saito. – Mode of access: <http://intechopen.com/books/wind-tunnels-and-experimental-fluid-dynamics-research/monitoring-of-soil-surface-under-wind-and-water-erosion-by-photogrammetry>, 2018.

22 Taconet, O. Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry [Electronic resource] / O. Taconet, V. Ciarletti. – Mode of access: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11769-010-0407-3>, 2018.

23 Olze, M. L. Roughness measurements of soil surfaces by acoustic backscatter / M. L. Oelze, J. M. Sabatier, R. Raspet // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2003. – № 67. – P. 241–250.

24 On the Soil Roughness Parameterization Problem in Soil Moisture Retrieval of Bare Surfaces from Synthetic Aperture Radar / N. E. C. Verhoest, H. Lievens, W. Wagner, J. Alvarez-Mozos, M. S. Moran, F. Mattia // Sensors. – 2008, Jul. 15. – № 8(7). – P. 4213–4248.

25 Mullan, D. Soil erosion under the impacts of future climate change: Assessing the statistical significance of future changes and the potential on-site and off-site problems / D. Mullan // *Catena*. – 2013, Oct. – Vol. 109. – P. 234–246.

26 The reduction of partitioned wind and water erosion by conservation agriculture / R. S. Van Pelt, S. X. Hushmurodov, R. L. Baumhardt, A. Chappell, M. A. Nearing, V. O. Polyakov, J. E. Strack // *Catena*. – 2017, Jan. – Vol. 148, pt. 2. – P. 160–167.

27 Burwell, R. E. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils / R. E. Burwell, R. R. Allmaras, M. Amemiya // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* – 1963. – № 27. – P. 697–700.

28 Garcia, M. R. A shadow analysis method to measure soil surface roughness / M. R. Garcia // *Geoderma*. – 2008. – № 146. – P. 201–208.

29 Hsieh, Y. P. Field method for soil erosion measurements in agricultural and natural lands / Y. P. Hsieh, K. T. Grant, G. C. Bugna // *Journal of Soil and Water Conservation*. – 2009. – Vol. 64, № 6. – P. 374–382.

30 Merrill, S. D. Comments on the chain method for measuring soil surface roughness: Use of the chain set / S. D. Merrill // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1998. – № 52. – P. 1147–1149.

References

1 *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochv pri izuchenii vodnoy erozii* [Methodological Recommendations for Accounting Surface Runoff and Soils Loss in Water Erosion Study]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 61 p. (In Russian).

2 Shchedrin V.N., Balakai G.T., Poluektov E.V., Balakai N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyaemogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya: monografiya* [Conditions for the Formation of Surface Runoff. Forecast of Damage Caused. Compensatory Reclamation Measures: monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 450 p. (In Russian).

3 Butakov G.P., 1987. *Osnovnye zadachi izucheniya sovremennykh ekzogennykh protsessov* [The main tasks of studying modern exogenous processes]. *Geograficheskie sistemy: problemy modelirovaniya i upravleniya* [Geographical Systems: Problems of Modeling and Control]. Kazan, Kazan University Publ., pp. 10-13. (In Russian).

4 Gabriels D., Plya J., 1984. *Opreделение poter' pochvy i eksperimental'nye issledovaniya* [Determining soil losses and experimental studies]. *Eroziya pochvy* [Soil Erosion]. Moscow, Kolos Publ., pp. 96-155. (In Russian).

5 Zaslavskiy M.N., 1979. *Eroziya pochv* [Soil Erosion]. Moscow, Mysl' Publ., 245 p. (In Russian).

6 Kashtanov A.N., 1974. *Zashchita pochv ot vetrovoy i vodnoy erozii* [The Protection of Soils from Wind and Water Erosion]. Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 206 p. (In Russian).

7 Kotlyarova O.G., 1995. *Landshaftnaya sistema zemledeliya Tsentral'no-Chernozemnoy zony* [Landscaping System of Farming of the Central Black Earth Zone]. Belgorod, Belgorod State Agricultural Academy Publ., 294 p. (In Russian).

8 Ol'garenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrskiy V.A., 2018. *Nauchnaya kontseptsiya i algoritm realizatsii elementov pretsizionnogo zemledeliya v usloviyakh orositel'noy sel'skokhozyaystvennoy melioratsii* [Scientific concept and implementation algorithm of precision farming elements under conditions of agricultural irrigation reclamation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(29), pp. 160-169, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=536>. (In Russian).

9 Ol'garenko V.Ig., Monastyrskiy V.A., Babichev A.N., 2018. *Sistema pretsizionnogo orosheniya v usloviyakh sel'skokhozyaystvennoy melioratsii* [Precision irrigation system under the conditions of agricultural reclamation]. *Resursosberezhenie i adaptivnost' v*

tekhnologiyakh vzdelyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pererabotki produktsii rastenievodstva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Resource-saving and Adaptability in Technologies of Cultivation of Agricultural Crops and Processing of Plant Growing Products: Proceed. of International Scientific-Practical Conf.] Persianovskiy, Don-GAU Publ., pp. 52-55. (In Russian).

10 Kazanskiy N.L., Khonina S.N., Skidanov R.V., Morozov A.A., Kharitonov S.I., Volotovskiy S.G., 2014. *Formirovaniye izobrazheniy difraktsionnoy mnogourovnevnoy linzoy* [Image formation by diffraction multilevel lens]. *Komp'yuternaya optika* [Computer Optics], vol. 38, no. 3, pp. 425-434. (In Russian).

11 Charkhabi A.H., Arab Khedri M., Nabi Peye Lashkariyan S., Iran Manesh F., 2018. National Plan of Erosion and its Control, available: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IR2015000020> (In English).

12 Barthes B.G., 2017. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. May, vol. 43, suppl. 1, pp. 133-149. (In English).

13 Ruttimann M., Schaub D., Prasuhn V., Ruegg W., 1995. Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland – some critical considerations. *June. Catena*, vol. 25, iss. 1-4, pp. 127-139. (In English).

14 Gumiere J.S., 2018. Contribution a la modelisation deterministe spatialisee de l'erosion hydrique des sols a l'echelle des petits bassins versants cultives, available: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2014001213> (In English).

15 Williams J.R., 2018. EPIC: The Erosion-Productivity Impact Calculator, available: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9403696>. (In English).

16 Robichaud P.R., Molnau M., 2018. Measuring soil roughness changes with an ultrasonic profiler, available: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9127399>. (In English).

17 Martinez-Agirre A., 2018. Universal 3D Profilometer [Electronic resource], available: <https://filmetrics.com/profilometers/profilm3d>. (In English).

18 Flanagan D. C., Huang C., Norton L. D., Parker S.C., 2018. Laser scanner for erosion plot measurements, available: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9556220>. (In English).

19 Daba S., Rieger W., Strauss P., 2003. Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques. *Catena*, vol. 50, iss. 2-4, pp. 273-291. (In English).

20 Laser scanning systems Z + F [Electronic resource], available: <http://laserscanning-europe.com/en/hardware/terrestrial-laser-scanners/riegl/riegl-laser-scanner>, 2018. (In English).

21 Moritani S., Yamamoto T., Andry H., Inoue M., Nishimura T., Fujimaki H., Kimura R., Saito H., 2018. Monitoring of Soil Surface under Wind and Water Erosion by Photogrammetry, available: <http://intechopen.com/books/wind-tunnels-and-experimental-fluid-dynamics-research/monitoring-of-soil-surface-under-wind-and-water-erosion-by-photogrammetry>. (In English).

22 Taconet O., Ciarletti V., 2018. Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry, available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11769-010-0407-3>. (In English).

23 Olze M.L., Sabatier J.M., Raspec R., 2003. Roughness measurements of soil surfaces by acoustic backscatter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, no. 67, pp. 241-250. (In English).

24 Verhoest N.E.C., Lievens H., Wagner W., Alvarez-Mozos J., Moran M. S., Mattia F., 2008. On the Soil Roughness Parameterization Problem in Soil Moisture Retrieval of Bare Surfaces from Synthetic Aperture Radar. *Sensors*, no. 8(7), pp. 4213-4248. (In English).

25 Mullan D., 2013. Soil erosion under the impacts of future climate change: Assessing the statistical significance of future changes and the potential on-site and off-site problems. *Catena*, vol. 109, pp. 234-246. (In English).

26 Van Pelt R.S., Hushmurodov S.X., Baumhardt R. L., Chappell A., Nearing M.A., Polyakov V.O., Strack J.E., 2017. The reduction of partitioned wind and water erosion by conservation agriculture. *Catena*, vol. 148, pt. 2, pp. 160-167. (In English).

27 Burwell R.E., Allmaras R.R., Amemiya M. 1963. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, no. 27, pp. 697-700. (In English).

28 Garcia M.R., 2008. A shadow analysis method to measure soil surface roughness. *Geoderma*, no. 146, pp. 201-208. (In English).

29 Hsieh Y.P., Grant K.T., Bugna G.C., 2009. Field method for soil erosion measurements in agricultural and natural lands. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 64, no. 6, pp. 374-382. (In English).

30 Merrill S.D., 1998. Comments on the chain method for measuring soil surface roughness: Use of the chain set. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, no. 52, pp. 1147. (In English).

Гулюк Георгий Григорьевич

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: главный редактор

Место работы: журнал «Мелиорация и водное хозяйство»

Адрес организации: ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2, оф. 129, г. Москва, Российская Федерация, 127550

E-mail: mivh@mail.ru

Guluk Georgy Grigoryevich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Chief Editor

Affiliation: Journal "Melioration and Water Management"

Affiliation address: str. Bolshaya Akademicheskaya, 44, bldg.2, of. 129, Moscow, Russian Federation, 127550

E-mail: mivh@mail.ru

Балакай Георгий Трифонович

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: главный научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Balakaу Georgiy Trifonovich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Chief Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: ave. Baklanovsky, 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Бабичев Александр Николаевич

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник отдела управления продуктивностью орошаемых агробиоценозов

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru

Babichev Alexander Nikolaevich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher of Department of Productivity Management of Irrigated Agrocoenosis

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: ave. Baklanovsky, 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru

Ольгаренко Владимир Игоревич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: olgarenko_vi@mail.ru

Olgarenko Vladimir Igorevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: ave. Baklanovsky 190, Novocherkassk, Rostov region, 346421 Russian Federation

E-mail: olgarenko_vi@mail.ru

Монастырский Валерий Алексеевич

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник отдела управления продуктивностью орошаемых агробиоценозов

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Monastyrskiy Valeriy Alekseyevich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher of Department of Productivity Management of Irrigated Agrocoenosis

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: ave. Baklanovsky, 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Шевченко Дмитрий Александрович

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: доцент

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

Адрес организации: пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, Ставропольский край, Российская Федерация, 355017

E-mail: dsgeo@bk.ru

Shevchenko Dmitry Aleksandrovich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Associate Professor

Affiliation: Stavropol State Agrarian University

Affiliation address: lane Zootechnical, 12, Stavropol, Stavropol edge, Russian Federation, 355017

E-mail: dsgeo@bk.ru