

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВОДНОЙ ЭРОЗИИ RUSLE-МЕТОДОМ НА ТЕРРИТОРИИ ОПЫТНОГО ХОЗЯЙСТВА МЕНЬКОВСКОГО ФИЛИАЛА ФГБНУ «АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»

*Ф.В. Виноградов, Д.К. Алексеев*

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург  
fedor.vinogradov@eco.rshu.ru; d.alekseev@rshu.ru

**Аннотация.** Была произведена оценка среднегодовой потери почвы от водной эрозии на территории Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института (АФИ) с применением пересмотренного универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE). В результате исследования с помощью аэрофотосъемки и ГИС-технологий был получен растр распределения значений потенциала водной эрозии и выявлены наиболее подверженные водной эрозии участки полей.

**Ключевые слова:** ГИС, аэрофотосъемка, дистанционное зондирование.

Одним из наиболее мощных факторов деградации почвенного покрова на хозяйственно освоенных территориях, несомненно, является эрозия почв. Задействованные в земледелии почвы становятся менее эрозионно стойкими, склоновые водосборы дробятся искусственными рубежами стока и даже распределение снежного покрова, глубина промерзания почв зачастую зависят от особенностей землеустройства и агротехники. Актуальной становится, прежде всего на равнинных территориях, оценка земельной эрозии почв (ЗЭП) – сложного многофакторного природно-антропогенного явления, сочетающего в себе технологические, экономические и социальные аспекты, а также природные факторы. Последние, в частности климатические, почвенные и морфологические, могут главенствовать. К наиболее эрозионно значимым последствиям социально-экономических и агротехнических преобразований относят:

- а) ускорение абсолютного сокращения площади пашни;
- б) распространение «незасеваемой пашни», то есть залежи;
- в) изменение структуры посевных площадей как основного показателя почвозащитной способности агроценозов.

Среди природных факторов выделяют следующие:

- а) климатические факторы эрозии почв при снеготаянии,
- б) климатические факторы дождевой эрозии почв,
- в) эрозионный потенциал рельефа и противоэрозионная стойкость почв.

В настоящее время климатические изменения на ЕТР характеризуются повышением температуры воздуха и увеличением количества осадков, способствующих изменению эрозионного потенциала дождя и слоя склонового талого стока [1].

Водная эрозия на сельскохозяйственных полях возникает, когда интенсивно поступающие потоки воды превышают способность почвы впитывать ее, что приводит к перемещению почвенных частиц в результате смывания. В условиях рискованного земледелия, что характерно для Ленинградской области, водная эрозия может стать серьезной проблемой.

Целью данного исследования является оценка возможного применения универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) на территории опытного хозяйства Меньковского филиала ФГБНУ АФИ, расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области в окрестностях деревень Меньково и Кривое Колено.

Центральная усадьба находится в д. Меньково, в 18 км от г. Гатчины и в 60 км от г. Санкт-Петербурга (59°34'N, 30°08'E). В состав опытного

хозяйства входят 606 га земельных угодий. Сельскохозяйственные почвы занимают 508 га, из них 291 га – пашни, а 98 га земель занято производственными объектами [2]. Для территории характерен полого-холмистый равнинный рельеф с выраженными краевыми мореными грядами и холмами. Высоты (до 100 м) имеют плавные перепады. Центральная усадьба расположена на овальном возвышении (абсолютная высота над уровнем моря 112 м) протяженностью с юго-запада на северо-восток. Угодья опытной станции представляют собой плакорный участок на северо-западе и юго-западе, переходящий в пологий склон (с уклонами до 1–3°) к р. Суйда.

На востоке находится такой же пологий склон (1°) в сторону болота. На юге и юго-востоке угодий, в связи с мелиорацией и планировкой полей, общий уклон в сторону р. Суйды нарушен и встречаются обратные уклоны до 1°. Результатом такого состояния мезорельефа является формирование обширного ареала почвенных разностей, подвергающихся развитию сезонного глевого процесса.

Климат характеризуется умеренно теплым летом и продолжительной зимой с оттепелями. Весна и осень имеют затяжной характер. По данным местной метеостанции, среднегодовая температура воздуха составляет +3,4 °С, ее абсолютный максимум равен +33 °С, а абсолютный минимум –43 °С. Продолжительность безморозного периода составляет в среднем 126 дней. Динамика температуры почвы в основном повторяет динамику температуры воздуха. Максимальная глубина промерзания почвы может изменяться от 10 до 112 см. Годовое количество осадков в среднем составляет 708 мм. Средняя годовая относительная влажность воздуха – 81 %. Среднегодовое испарение с суши – 430 мм. Гидротермический коэффициент, характеризующий степень увлажнения за период с температурой выше 10 °С, равен 1,6–1,7. Средняя дата схода снежного покрова – 4 апреля. Господствующими являются ветры юго-западного и западного направления.

Борьба с эрозией почв ведется во всех развитых странах мира и требует надежных научно обоснованных оценок в трех главных аспектах: географическом (пространственном), количественном (интенсивность смыва и масса смываемого субстрата) и временном. В настоящее время существует ряд моделей эрозии почвенного покро-

ва: Agricultural Non-Point-Source Pollution Model (AGNPS), Water erosion prediction project (WEPP), Universal Soil Loss Equation (USLE), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) и Modification Universal Soil Loss Equation (MUSLE) – реализация которых частично представлена в различных программных системах [3]. Подобные модели базируются на разделении водораздела на отдельные ячейки регулярной сети и назначении каждой ячейке набора атрибутов, таких как значение уклона, длины склона, эрозионной интенсивности дождя и др.

Пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) – это эмпирическая модель, используемая для оценки эродированности сельскохозяйственных земель. Данная модель, разработанная в США Ушмеером и Смитом и доработанная Ренардом и Фостером [4], представляет собой простое математическое выражение, базирующимся на пяти основных факторах, определяющих интенсивность протекания водно-эрозионных процессов:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \quad (1)$$

где  $A$  – потенциальный смыв почвы, т/га в год;  $R$  – фактор эродирующей способности дождя, (МДж·мм)/(га·ч·год);  $K$  – фактор эродированности почвы, (т·га·ч)/(га·МДж·мм);  $LS$  – комбинированный фактор длины и крутизны склона, безразмерный;  $C$  – фактор растительного покрова и севооборота, безразмерный;  $P$  – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий, безразмерный.

В работе выполнена попытка определить экстремальные значения интенсивности эрозии, поэтому расчеты проводились для условий пара и при отсутствии противоэрозионных мероприятий, т.е. при равенстве факторов ( $C$ ) и ( $P$ ) единице.

Наибольший интерес в исследовании представляют участки третьего и пятого полей, где проводилась аэрофотосъемка, по данным которой была построена высокодетализированная цифровая модель рельефа (ЦМР). Остальная часть территории была дополнена цифровой моделью рельефа ASTER GDEM v3.

Вычисленные на основании метеоданных значения фактора эродирующей способности дождей ( $R$ ) были нанесены на карту и интерполированы методом обратно-взвешенных расстояний

средствами QGIS для получения соответствующего растра (рис. 1а). Вычисление фактора эродируемости почвы (K) выполнено на основании крупномасштабной почвенной карты Меньковского филиала [5], а также дополнительных данных о почвенных характеристиках. Всего выделено шесть типов дерново-подзолистых и торфяно-глеевых почв, супесчаного и суглинистого гранулометрического состава (рис. 1б). Вычисление эрозионного потенциала рельефа в SAGA GIS 9.0.2. выполнено с помощью модуля «LS-Factor» на основании ЦМР, построенной в результате аэрофотосъемки с БПЛА «Геоскан-401» с последующей обработкой в Agisoft Metashape Pro. Остальная территория была покрыта спутниковой моделью рельефа ASTER GDEM v3 (рис. 1в).

Конечный растр интенсивности водной эрозии был получен путем перемножения вычисленных растров с помощью калькулятора в QGIS (рис. 1г):

На основании полученного растра выявлено, что на «семиполе» среднее значение максимального потенциального смыва почвы составляет 1,54 т/га в год, на третьем поле – 1,74 т/га в год, а на участке пятого поля – 1,96 т/га в год.

Анализ территорий, которые были покрыты ЦМР на основе аэрофотосъемки, показал очень детализированную и наглядную картину развития эрозионных процессов. На растрах, полученных с помощью RUSLE, отчетливо видны наиболее проблемные участки в виде разветвленных рукавов, по которым при эрозионно-благоприятных условиях будут образовываться эрозионные промоины. Наиболее уязвимыми оказались участки на пятом поле. «Семиполе» характеризуется наиболее низкими значениями смыва почвы, а также их равномерным распределением, с минимальным количеством потенциальных промоин. Остальная территория, заполненная спутниковой ЦМР, не

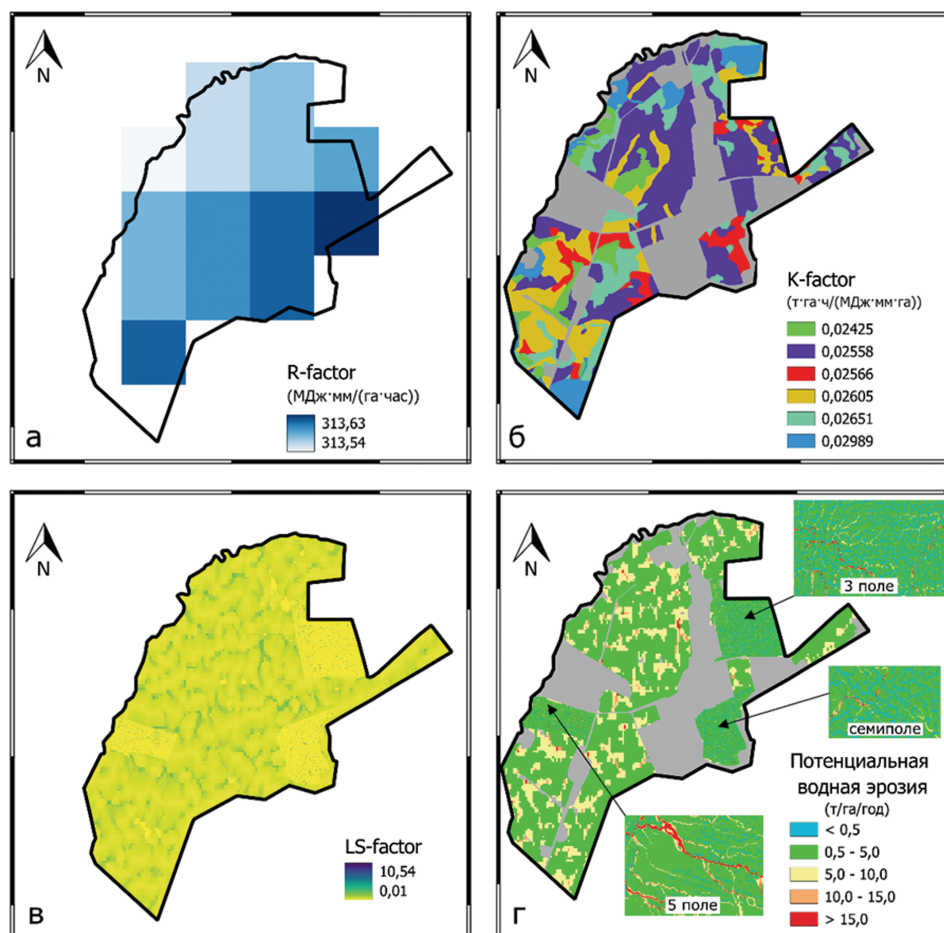


Рис. 1. Факторные карты пересмотренного универсального уравнения потери почвы территории (RUSLE) Меньковского филиала АФИ

позволила получить такой же качественной картины, поэтому при мелкомасштабном моделировании эрозионных процессов следует опираться исключительно на данные аэрофотосъемки.

Комбинирование данных БПЛА и ГИС-моделирования имеет большой практический потенциал, что позволит в будущем составлять наиболее эффективные планы противоэрозионных мероприятий.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность сотрудникам сектора программных разработок ФГБНУ АФИ Петрушину А.Ф. и Митрофанову Е.П. за предоставленную возможность принять участие в полевых работах.

#### Список литературы

1. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г. География динамики земледельческой эрозии почв на Европейской территории России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1390–1400. DOI: 10.7868/S0032180X17110089.
2. Балашов Е.В., Моисеев К.Г., Рижия Е.Я., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д., Зинчук Е.Г., Бучкина Н.П. Комплексная оценка мониторинга агрофизического состояния почв на основе результатов почвенного картирования и исследования эмиссии парниковых газов // Агрофизика. 2013. № 4(12). С. 1–11.
3. Горбачёва Е.Н. Применение универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при оценке интенсивности водно-эрозионных процессов на основе ГИС // Почвоведение и агрохимия. № 2(47). 2011. С. 42–51.
4. Renard, K., Foster, G., Weesies, G., D. McCool and D. Yoder. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // Agricultural Handbook. No. 703. P. 65–100. DOI: 10.1201/9780203739358-5, 1997.
5. Моисеев К.Г., Зинчук Е.Г. Крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии. СПб.: ГНУ АФИ, 2014. 15 с. УДК 631.459:681.518

---

EVALUATION OF WATER EROSION POTENTIAL USING THE RULSE-METHOD  
ON THE MENKOVO EXPERIMENTAL STATION  
OF THE AGROPHYSICAL RESEARCH INSTITUTE

---

*F.V. Vinogradov, D.K. Alexeev*

Russian State Hydrometeorological University St. Petersburg  
fedor.vinogradov@eco.rshu.ru; d.alekseev@rshu.ru

---

**Abstract.** Based on satellite images of Landsat 7 and Landsat 8 for the period from 2014 to 2021, an analysis of the dynamics of green spaces in one of the youngest cities in Russia – Kudrovo was carried out. A normalized vegetation index (NDVI) was used for quantification. NDVI spatial maps were constructed over the study period. A decrease in the area of green spaces was found.

**Keywords:** GIS, remote sensing, erosion, Landsat.

**References**

1. Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G. Geography of the dynamics of agricultural soil erosion in the European territory of Russia. *Pochvovedenie*. [Soil Science]. 2017. No. 11. P. 1390–1400. DOI: 10.7868/S0032180X17110089 (In Russia).
2. Balashov E.V., Moiseev K.G., Rizhiya E.Ya., Boytsova L.V., Goncharov V.D., Zinchuk E.G., Buchkina N.P. Comprehensive assessment of the monitoring of the agrophysical state of soils based on the results of soil mapping and research on greenhouse gas emissions. *Agrofizika*. [Agrophysics]. 2013. No. 4(12). P. 1–11. (In Russia).
3. Gorbacheva E.N. Application of the universal equation of soil loss from erosion (RULSE) in assessing the intensity of water-erosion processes based on GIS. *Pochvovedenie i agrokhimiia*. [Soil Science and Agrochemistry]. No. 2 (47), 2011. P. 42–51. (In Russia).
4. Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., and Yoder, D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook. No. 703. 1997. P. 65–100, DOI: 10.1201/9780203739358-5. (In English).
5. Moiseev K.G., Zinchuk E.G. *Krupnomasshtabnaia pochvennaia karta Men'kovskogo filiala Agrofizicheskogo instituta Rossel'khozakademii*. [Large-scale soil map of the Menkovsky branch of the Agrophysical Institute of the Russian Agricultural Academy]. St. Petersburg: GNU AFI, 2014. 15 p. (In Russia).