



НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 631.459.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ¹

Ж.А. Буряк

Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет, Россия, 308015,
г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: buryak@bsu.edu.ru

Предложен подход к усовершенствованию методики оценки эрозионной опасности территории при адаптивно-ландшафтном земледелии, основанный на ГИС-анализе сочетаний геоморфологических условий, при которых наблюдается усиление водно-эрозионных процессов. По данным дистанционного зондирования Земли были выявлены эрозионно трансформированные ареалы пашни, для которых было вычислено среднее значение рельефной функции, определенное нами как «критичное». В результате пространственного анализа для территории исследуемого полигона была построена карта эрозионно опасных земель, сочетающая в себе распределение критичных значений рельефной функции и экспозиций склонов.

Ключевые слова: водная эрозия, рельеф, рельефная функция, геоинформационные системы, ландшафтное земледелие.

Введение

Существенным ограничением устойчивого и долговременного сельскохозяйственного производства и землепользования в Белгородской области является деградация почв под воздействием водной эрозии, которая оценивается огромными величинами – более 3 млн. т в год [1]. Причины интенсивного смыва почв кроются, прежде всего, в сложных геоморфологических условиях всего Центрально-Черноземного региона. Белгородская область расположена на территории Среднерусской возвышенности и характеризуется высокой расчлененностью рельефа, а в этих условиях активно протекают процессы, как поверхностного смыва, так и линейного размыва почв. Но, несмотря на сложные рельефные условия, более 55% (1509 тыс. га) площади области вовлечено в интенсивное сельскохозяйственное использование и находится под пашней, из которой 56–60% подвержено эрозионной трансформации [2].

Интенсивность эрозионных процессов зависит от совокупности рельефных, почвенных, климатических, растительных и агротехнологических условий. Среди них рельеф является базовым фактором перераспределения вещественно-энергетических потоков в ландшафте и выступает в роли «каркаса» эрозионных процессов, определяющего их интенсивность. Идея подстраивания землепользования под рельефные условия при организации сельскохозяйственных угодий нашла свое отражение в концепции адаптивно-ландшафтного земледелия, получившей развитие в 90-х годах прошлого века. Данный подход подразумевает контурно-полосное обустройство территории, отражающее природную структуру ландшафта, а также дифференцированное использование угодий в зависимости от эрозионной опасности. В качестве критерия эрозионной опасности территории здесь часто выбирают уклон местности, в зависимости от которого земли подразделяются на технологические группы с рекомендованными для выращивания культурами и способом обработки. А.Г. Татарико [3] подразделяет земли на три технологические группы со следующими градациями уклонов:

I группа – равнинные земли и склоны до 3°, пригодные для размещения пропашных культур;

II группа – склоны от 3 до 7° с севооборотами зернотравяного типа;

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям социально-экономического развития Белгородской области (договор № Г-03 от 10.11. 2013 г.).

III группа – склоны более 7° , рекомендованные к выводу из пашни и длительному залужению.

При внедрении ландшафтной системы земледелия в Центрально-Черноземной зоне применяли [4] более дифференцированную классификацию пашни по степени эродированности почв и уклона. В ней предусмотрены четыре категории эродированности: до 1° – несмытые почвы, $1-3^\circ$ – эрозионно-опасные, $3-5^\circ$ – слабосмытые, $5-8^\circ$ – средне- и сильносмытые. При этом почвозащитные севообороты предлагается вводить на склонах крутизной от 5° .

Дифференциация использования пашни по уклонам имеет неоспоримые преимущества по сравнению с прямолинейной организацией территории. Однако только один параметр «крутизна склона» не может в полной мере описать все геоморфологические условия, влияющие на эрозионные процессы. Отмечено, что в районах с интенсивными ливнями и стоком талых вод эрозия проявляется уже на склонах 1° [5], где вклад в интенсивность стока вносят и другие факторы. При возрастающих темпах деградации пашни в Белгородской области крайне необходимо найти пути ужесточения критериев выделения эрозионно опасных земель. Решением может стать комплексное исследование геоморфологических особенностей территории, которые не ограничиваются лишь уклоном, с последующей к ним адаптацией землеустройства и землепользования.

В эрозиоведении при оценке потенциальных почвенных потерь рельефные условия рассматриваются более широко: помимо уклона учитывают длину и экспозицию склона, форму водосбора. При адаптивно-ландшафтном подходе также отмечается их влияние на эрозионную опасность, но при проектировании эти параметры, как правило, не учитываются. Можно предположить, что это связано с отсутствием доступа к автоматизированным способам геоморфологического анализа, а использование расчетных методов в 80–90-е гг. XX в. было еще трудоемким.

Современные геоинформационные системы (ГИС) способны существенно облегчить расчеты, увеличивая количество учитываемых факторов. С использованием ГИС-технологий сложившиеся методологические подходы к оценке эрозионной опасности территории могут быть выведены на качественно новый уровень. В сочетании с данными дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) ГИС позволяют проводить комплексный мониторинг агроландшафтов, а также осуществлять моделирование протекающих в них процессов, связанных с переносом вещества и энергии в пространстве. Модули пространственного анализа ГИС-приложений позволяют создать цифровые модели рельефа, которые являются основой для моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов в агроландшафтах. Полученные результаты могут быть взяты за основу землеустроительного проектирования на адаптивно-ландшафтной основе.

Объекты и методы исследования

При оценке эрозионной опасности территории необходимо отталкиваться от конкретных величин анализируемых факторов. Таким критерием является степень смытости почвы, т.е. уменьшение мощности гумусового горизонта под воздействием водной эрозии. Как правило, для ее определения необходимо проведение масштабных и затратных полевых исследований. Однако существует альтернативный объективный критерий эрозионной трансформации, который можно оценить дистанционно, особенно применительно к условиям Белгородской области – это выходы меловых и лессовидных почвообразующих пород на поверхность в результате интенсивного смыва почвы. При дешифрировании ДДЗ выходы пород идентифицируются через непостоянство яркостных характеристик в различных участках изображения. Изменение характера кривой спектрального отражения сопутствуют изменению тональности окраски – в местах смыва наблюдается увеличение яркости изображения [6].

Позиции границ ареалов смытых почв можно принять в качестве индикаторов сильной эрозионной трансформации агроландшафта, а совокупность сопряженных рельефных условий – за исходные расчетные критерии. Для Белгородской области характерно распространение как смытых почв, деградация которых зависит от развития антропогенно обусловленных эрозионных процессов, так и маломощных, короткопрофильность которых обусловлена также особенностями почвообразования. Дешифровочные признаки и тех и других почв одинаковы, поэтому при выборе ареалов смытых почв необходимо использовать почвенно-генетическую подоснову [7].

В качестве полигона исследования был выбран участок в степной зоне Белгородской области в бассейне реки Айдар площадью 5 тыс. га, из которых пашня занимает 74 %. Участок относится к юго-восточному эрозионному району очень сильного смыва и сильной заовраженности. Участок характеризуется сложным эрозионным рельефом, пашня на склонах $0-3^\circ$ занимает 63%, $3-5^\circ$ – 31%, более 5° – 6%. Почвенный покров участка, типичный для степной зоны, на пашне представлен преимущественно черноземами обыкновенными среднемощными,



обыкновенными карбонатными среднемоющими и обыкновенными остаточными карбонатными. Гранулометрический состав более тяжелый, чем у других подтипов черноземов, на данном участке он тяжелосуглинистый.

Для идентификации ареалов смытых почв использовали космические снимки BING, которые имеют высокое разрешение и комбинацию цветов, идентичную восприятию человеческим глазом. Поэтому визуальный метод дешифрирования таких снимков позволяет получить достоверные сведения о смытости почв [8].

По результатам визуального дешифрирования на пашне было выделено 36 ареалов эродированных почв. После анализа почвенных карт из выборки были исключены ареалы на почвах, образованных на элювии мела. Оставшиеся 22 ареала, представленные почвами на лессовидных суглинках, были разделены на две группы в зависимости степени изменения яркости по сравнению с фоновой почвой на водоразделе. Так, почвы с меньшей разностью яркостей мы назвали «менее смытые» (63,6 га), с большей – «более смытые» (124,9 га).

Для анализа морфометрических характеристик в выбранных ареалах в программной среде ArcGIS 9.3 была построена гидрологически корректная цифровая модель рельефа размером ячейки 25х25 м. При выборе анализируемых параметров мы остановились на следующих: длина склона, уклон и экспозиция. Влияние длины и крутизны склона учитывали через совокупную рельефную функцию, которую используют для количественной оценки фактора рельефа при расчете модуля смыва почвы. Существует ряд формул для расчета рельефной функции, каждая из которых по-своему отражает вклад длины и уклона [9]. В общем виде рельефная функция может быть представлена следующим выражением:

$$F(L,S) = f(L^p \times S^n), \quad (1)$$

где $F(L,S)$ – фактор рельефа, L – фактор длины склона, представляющий собой расстояние от водораздела, S – фактор уклона, p и n – показатели степени.

В нашей работе для расчета рельефной функции была использована формула, используемая в американской модели RUSLE – модифицированном универсальном уравнении потерь почвы [10, 11]. Данная модель получила широкое распространение во всем мире благодаря легкости реализации в ГИС за счет своей мультипликативной структуры (Lorito, 2006; Джамалов, 2011; Hasan et.al., 2013 и др.), поэтому уже имеется алгоритм ГИС-представления рельефной функции [12]. В формуле расчета рельефной функции RUSLE используется разделение по уклонам более и менее 5.14° :

$$LS = (a \times \sin S + b) \times \left(\frac{L}{22,1} \right)^{\frac{\sin S}{\sin S + 0.269 \times (\sin S)^{0.8} + 0.05}}, \quad (2)$$

где L – длина склона от водораздела, м, S – средневзвешенный уклон, в %, a и b – коэффициенты, при уклоне менее 5.14° равные 10.8 и 0.03 соответственно, при уклоне равном или более $5.14^\circ - 16.8$ и 0.5.

Анализ рельефной функции и остальных параметров проводили в точках на верхних границах ареалов смытости, где начинаются объективно идентифицируемые процессы эрозионной трансформации. Для каждой точки, начиная от линии водораздела, строили линию стока воды и по ней вычисляли средневзвешенный уклон. По полученным данным рассчитывали рельефную функцию вида (2).

Результаты и их обсуждение

Проанализировав рельефные условия для ареалов почв двух градаций смытости, установленных путем визуального дешифрирования, мы сравнили зависимость степени эродированности от длины склона и уклона. Из графика рисунка 1 видно, что с увеличением расстояния от водораздела снижается доля менее смытых ареалов и увеличивается число более смытых, т.е. прослеживается четкая прямая связь эродированности с фактором длины склона. Параметр уклона относительно степени смытости распределен более хаотично: почвы разной степени эродированности встречаются на всем диапазоне уклонов, без ясно выраженной закономерности.

Контрастные на первый взгляд геоморфологические условия в точках могут быть обобщены с помощью рельефной функции LS . Это хорошо продемонстрировано на примере двух точек (выделены черным на рис. 1): одна точка лежит на расстоянии 265 м от водораздела при средневзвешенном уклоне 2.6° , другая – на расстоянии 875 м при уклоне 1.9° . При совершенно разных рельефных ситуациях обе точки отражают позицию смытых почвах, где LS принимает одинаковые значения – 1.4. Мы видим, что совокупное влияние факторов длины и уклона создает условия для проявления эрозионной трансформации на разных позициях ландшафтов. Интегральный показатель рельефной функции точнее описывает геоморфологию

ческие условия, нежели отдельно уклон и длина склона, что делают ее более приемлемым критерием при оценке эрозионной опасности почв агроландшафтов.

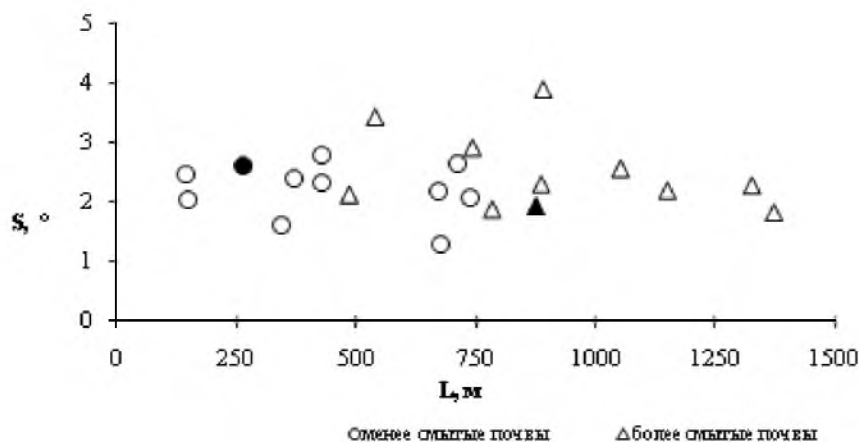


Рис. 1. Распределение значений длины L и крутизны S для верхних границ ареалов смытости.

В результате анализа установлено, что для полигона исследования среднее значение рельефной функции LS в точках эрозионной трансформации равно 1.7. Полученное значение LS можно назвать «критичным» для исследуемой территории, т.к. оно соответствует верхней границе эрозионной трансформации земель, ниже которой создаются геоморфологические предпосылки усиления водно-эрозионных процессов уровня эрозионной деградации почв.

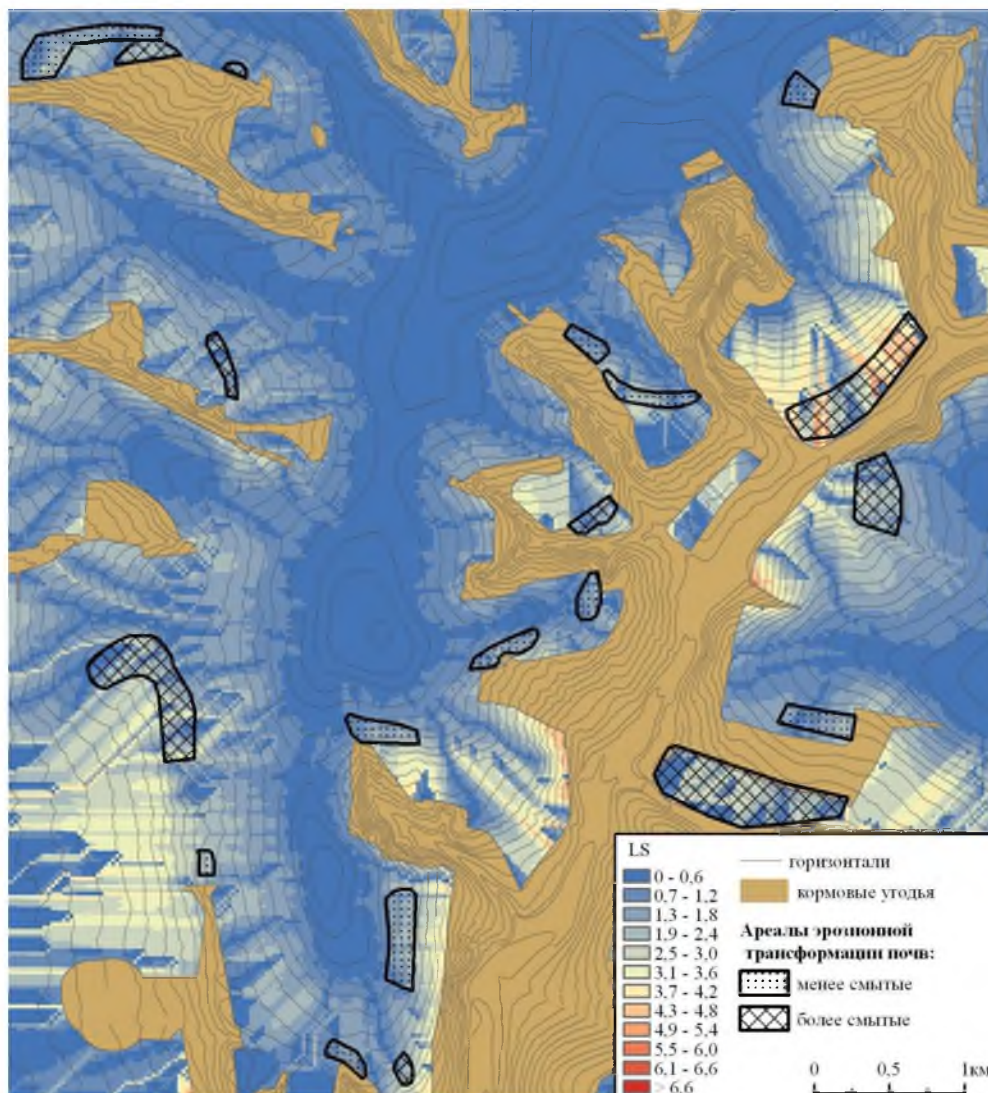


Рис. 2. Распределение значений рельефной функции LS на пашне исследовательского полигона

Пространственный анализ рельефа в ГИС позволяет получить raster значений LS заданной точности для территории любого масштаба (рис. 2). Выделенные на них границы критичных значений LS могут являться основой противоэрозионного проектирования.

Пространственное распределение значений рельефной функции позволяет выделить территории, подверженные риску водной эрозии. Помимо этого необходимо оценить еще один параметр важный рельефа – экспозицию, которая также существенно влияет на протекание эрозионных процессов в период весеннего снеготаяния. В традиционных методиках оценки талого стока учитывают экспозицию с помощью коэффициентов (C_s) по четырем румбам: юг ($C_s > 1$), север ($C_s < 1$), запад и восток ($C_s = 1$). Возможности растрового представления данных в ГИС позволяют учесть экспозицию по абсолютным значениям румбов, что существенно повышает точность оценки. При анализе территории особенно важно выявить склоны «теплых» экспозиций, румбы которых лежат в диапазоне $112.5-247.5^\circ$ (ВЮВ–ЗЮЗ). Пространственные сочетания критичных значений рельефной функции с «теплыми» экспозициями будут идентифицированы как наиболее эрозионно опасные позиции агроландшафтов.

На рисунке 3 представлен результат оверлея пространственных данных – производная картосхема распределения экспозиций с критичным значением LS (более 1.7). Для сравнения здесь же штриховкой показаны территории с уклоном более 5° , на которых, согласно классификации технологических групп земель, рекомендовано вводить почвозащитные севообороты. При классификации экспозиций нами были выбраны качественные характеристики, которые наглядно отражают температурный режим склонов. Склоны западной и восточной экспозиции объединены в класс нейтральных, так как их ориентация существенно не влияет на интенсивность талого стока [9].

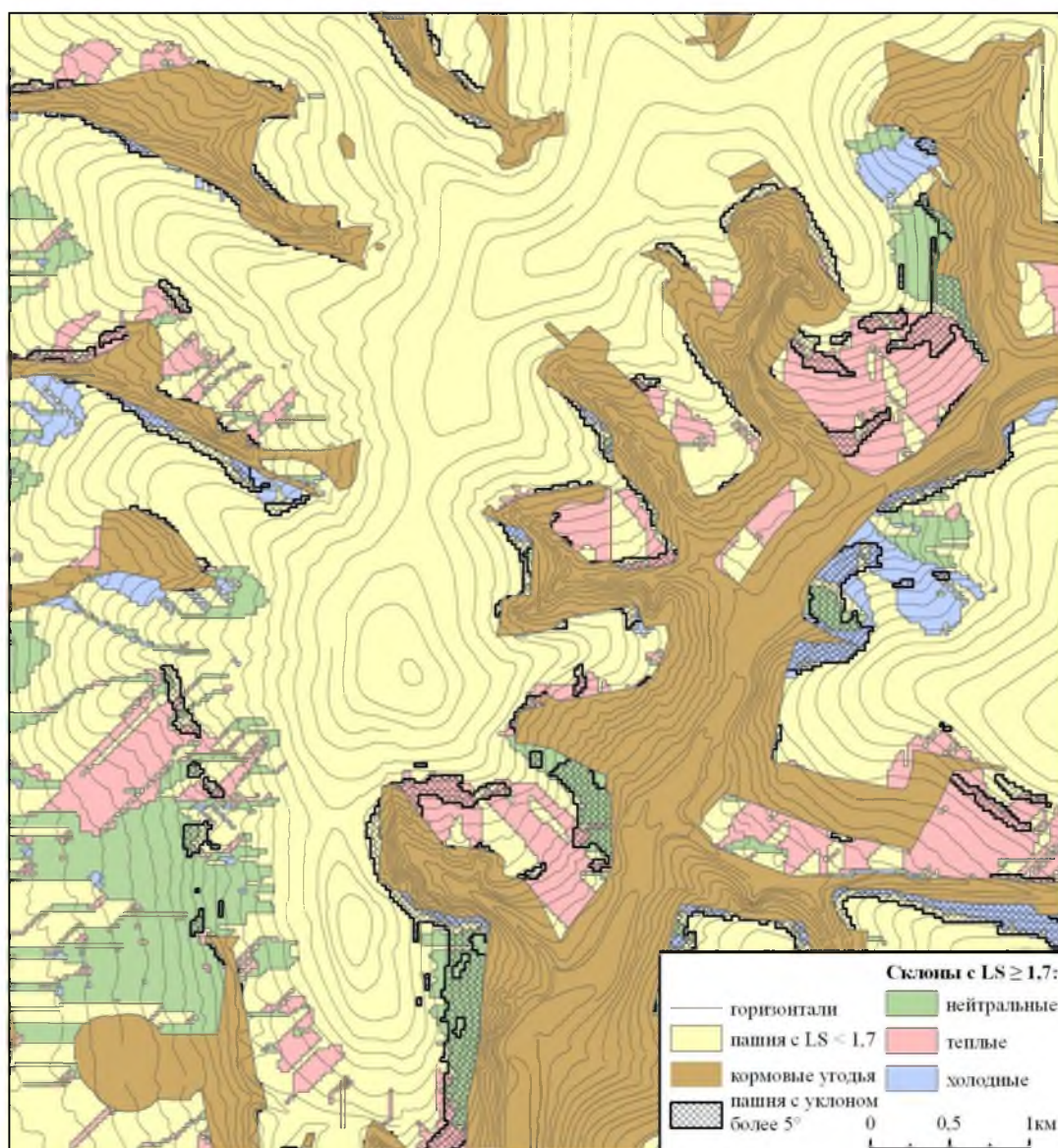


Рис. 3. Картосхема эрозионно опасных участков пашни



Оценка эрозионного потенциала территории по нескольким параметрам рельефа позволяет ужесточить требования к почвозащитной организации агроландшафтов. В случае, если бы мы оценивали эрозионный потенциал рельефа лишь по критерию уклона, то к эрозионно опасным угодьям на склонах более 5° было бы отнесено лишь 6.4% пашни. При комплексном подходе к анализу геоморфологических условий через сочетания LS и экспозиций на исследуемом участке оцениваемая площадь эрозионно опасных земель выросла в 3.6 раза и составила 23% от общей площади пашни, причем средний уклон этих территорий равен 3° . Данные территории либо уже подверглись активной эрозионной трансформации, что подтверждают ДДЗ, либо потенциально эрозионно опасные из-за геоморфологических предпосылок.

Выделенные по критичному значению LS эрозионно опасные территории в свою очередь могут быть подразделены по степени эрозионной опасности в зависимости от экспозиции. Теплые склоны с критичным LS следует отнести к особо эрозионно опасным из-за интенсивного стока талых вод в весенний период: такие территории приоритетны для противоэрозионных мероприятий. На полигоне исследования эрозионно опасные территории распределены по экспозициям следующим образом: теплые – 49%, нейтральные – 37% и холодные – 14%. Мы видим, что половина эрозионно опасных земель, а это 11% от общей площади пашни, может быть отнесена к особо эрозионно опасным. На таких территориях могут быть реализованы различные сценарии землепользования: введение почвозащитных севооборотов, консервация до восстановления плодородия, либо безвозвратный перевод из пашни в средостабилизирующие виды угодий для деградированных земель.

Заключение

Комплексный подход к эрозионной оценке рельефа позволяет более объективно отразить условия, способствующие развитию водной эрозии. Предложенный способ анализа эрозионного потенциала рельефа может являться существенным дополнением к традиционным методикам противоэрозионной организации агроландшафтов. Использование рельефной функции в сочетании с зонированием территории по экспозициям в качестве критерия оценки позволяет более объективно выделить эрозионно опасные позиции агроландшафтов. Так, с применением предложенного подхода оцениваемая площадь эрозионно опасных земель на исследуемом участке увеличилась в 3.5 раза по сравнению с традиционно используемым критерием уклона. При условии замещения на этих землях полевых и зерновых севооборотов многолетними травами суммарные годовые почвенные потери могут снизиться в 4–7 раз.

Стоит отметить, что полученное в нашем исследовании для исследуемой территории критичное значение функции LS является частным случаем и будет меняться в зависимости от противоэрозионной стойкости почв и климатических особенностей территории. Использование предложенной нами методики позволит определить уникальные критичные значения LS для других территорий Центрально-Черноземного региона.

Применение инструментария ГИС дает качественно новые результаты, которые с легкостью могут быть использованы в виде подосновы проектирования, наряду с почвенными, климатическими и агротехническими факторами. Критичная величина рельефной функции может являться обоснованием для вывода земель из интенсивного сельскохозяйственного использования. Перспективными для дальнейших исследований являются вопросы типизации территории области по критичным значениям LS, а также способах хозяйственного использования угодий в зависимости от значений рельефной функции.

Список литературы

1. Шатилов И.С., Силян А.Д., Полев Н.А. Состояние и перспективы повышения плодородия почв в Центрально-Черноземном экономическом районе РСФСР // Повышение эффективности земледелия и агропромышленного производства Белгородской области. – М.: Росагропромиздат, 1990. – С. 33–43.
2. Лукин С.В. Экологические проблемы и пути их решения в земледелии Белгородской области. – Белгород: Изд-во «Крестьянское дело», 2004. – 164 с.
3. Тарарико А.Г. Агроэкологические основы почвозащитного земледелия – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
4. Котлярова О.Г. Ландшафтная система земледелия центрально-черноземной зоны – Белгород: Изд-во Белгородской ГСХА, 1995. – 293 с.
5. Каштанов А.Н., Заславский М.Н. Почвоводоохранное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 462 с.
6. Использование данных многозональной космической съемки для анализа свойств почв и растительности в условиях европейской лесостепи / О.А. Чепелев, П.А. Украинский, В.И. Соловьев, А.В. Свиридова, И.М. Гапшпоренко // Вестник ВГУ. Серия: география. Геоэкология. – 2009. – № 1. – С. 55–56.

7. Лисецкий Ф.Н, Марциневская Л.В. Оценка развития линейной эрозии и эродированности почв по результатам аэрофотосъемки // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2009. – № 10. – С. 39–43.

8. Украинский П.А. Оценка земель сельскохозяйственного назначения по показателям плодородия для дистанционного мониторинга: Автореф. дисс... канд. геогр. наук. – Белгород, 2011. – 23 с.

9. Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения / Под ред. А. А. Светличного. – Белгород: Константа, 2012. – 456 с.

10. Revised slope length factor / D.K. McCool, G.R. Foster, C.K. Mutchler, L.D. Meyer // Transactions of ASAE. – 1989. – Vol. 32(5). – Pp. 1571–1576.

11. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation / K.G. Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies, J.P. Porter // J. Soil and Cons. – 1991. – Vol. 46. – Pp. 30–33.

12. Van Remortel R., Hamilton M., Hickey R. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data // Cartography. – 2001. – Vol. 30. № 1. – Pp. 27–35.

IMPROVEMENT OF APPROACHES TO ASSESSING THE RISK OF EROSION IN AGRICULTURAL LANDSCAPES USING GIS TECHNOLOGY

Zh.A. Buryak

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: buryak@bsu.edu.ru

An approach of improving the methodology of assessing the risk of erosion at adaptive-landscape agriculture was proposed. It is based on GIS analysis of the combination of geomorphological conditions in which there is increased water-erosion processes. Based on remote sensing data, areas of erosion transformed arable land were identified, for which the average value of relief function, defined as 'critical', was calculated. As a result of the spatial analysis for the area of the test polygon the map of erosion-prone land was constructed, combining the distribution of critical values of the relief function and slope aspects.

Key words: water erosion, relief, relief function, GIS, landscape farming.