

УДК 89.57.45, 68.05.01

Е. Н. Горбачёва, мл. науч. сотрудник (УП «Космоаэрогеология»);  
В. Р. Понтус, зав. отделом дистанционных исследований  
природных геосистем (УП «Космоаэрогеология»);  
В. П. Тимовец, мл. науч. сотрудник (УП «Космоаэрогеология»);  
В. В. Шкабара, мл. науч. сотрудник (УП «Космоаэрогеология»)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЕОДАНЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ЭРОЗИИ ПОЧВ В ПЕРИОД СТОКООБРАЗУЮЩИХ ДОЖДЕЙ

Универсальное уравнение потерь почвы от эрозии используется на протяжении многих лет при оценке интенсивности эрозии почвенного покрова. Данные о высотах земной поверхности, полученные на основании аэрофото- и космосъемки, могут успешно применяться при описании рельефа. Разрешение и точность построения цифровой модели рельефа (ЦМР) по стереоданным ДЗЗ определяет правильность рассчитываемых по ней параметров. Чем выше разрешение и точность построения ЦМР, тем более подробно визуализируется ландшафт и тем более достоверна оценка эрозии.

The Universal Soil Loss Equation has been used for a number of years to estimate soil erosion. Elevation data sets derived from aerial photography and cosmic survey data can be successfully used to derive a wealth of information about the morphology of land surface. Data resolution influences the magnitude and variability of erosion and sedimentation estimates from geographic information system (GIS) representations of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).

**Введение.** Увеличение масштабов сельскохозяйственного воздействия на почвенный покров требует кардинальных изменений в управлении земельными ресурсами, в частности, проведения локальных и региональных мониторинговых наблюдений за состоянием почвенного покрова (в пределах отдельных полей и водосборов). Эта необходимость определяет поиск эффективных инструментов анализа и интерпретации большого объема пространственных данных о структуре почвенного покрова, факторах почвообразования и характере землепользования. Все это находит отражение в развитии и усовершенствовании геоинформационных систем, ориентированных на работу с пространственной информацией, хранимой в базе данных, а также в модернизации инструментов моделирования различных уровней сложности: создания комплексных, физически обоснованных моделей, прогнозирующих результаты воздействия природных и антропогенных процессов на состояние ландшафта в каждой точке изучаемого пространства и для определенного интересующего момента времени, а также использования стереоданных ДЗЗ (стереопар аэро- и космоснимков) для получения данных о параметрах рельефа исследуемой территории. Разрешение и точность построения цифровой модели рельефа (ЦМР) по стереоданным ДЗЗ определяет правильность рассчитываемых по ней параметров. Чем выше разрешение и точность построения ЦМР, тем более подробно визуализируется ландшафт и тем более достоверна оценка эрозии [3].

**Основная часть.** Моделирование природных процессов, таких как эрозия почвенного покрова, является сложной и до конца не решенной проблемой. В настоящее время существует ряд моделей эрозии почвенного покрова: ANSWERS (Beasley and Haggis, 1992), AGNPS (Young et al., 1985), WEPP (Foster and Lane, 1987), USLE (Wischmeier and Smith, 1978) и RUSLE (Renard et al). Моделирование эрозионных процессов позволяет создавать долгосрочные прогнозы, выявлять эрозионно-опасные участки почвенного покрова. Геоморфологический фактор (длина и крутизна линии стока, форма и экспозиция склона), фактор противоэрозионной стойкости почв, вместе с гидрометеорологическим (интенсивность и продолжительность выпадения ливней или снеготаяния и т. д.) определяют степень или уровень энергетического воздействия воды на земную поверхность и реальную величину поверхностного смыва. Эти модели базируются на разделении водораздела на отдельные ячейки регулярной сети (grid) и назначении каждой ячейке набора атрибутов, таких как значения уклона, длины склона, эрозионной интенсивности дождя, коэффициента эродированности почвы и др.

Эмпирическая модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), принятая в настоящее время как мировой стандарт, является простым уравнением, базирующимся на пяти основных факторах, определяющих интенсивность протекания водноэрозионных процессов, что и обусловило ее широкое применение во многих странах мира. Модель RUSLE используется для расчета межручьевой и ручьевой

эрозии как функции факторов климата, почвы, топографии. В общем виде функция потенциального смыва в эмпирических моделях выглядит как степенная зависимость:

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

где  $A$  – потенциальный смыв почвы;  $R$  – среднеголетние значения индекса дождя;  $K$  – фактор эродуемости почвы;  $L$  – фактор длины склона;  $S$  – фактор уклона.

Реализация модели в ГИС сопряжена со значительными сложностями, обусловленными необходимостью автоматизированного расчета параметров рельефа (длины и уклона склона), а также модификацией уравнения применимо к отдельным ячейкам регулярной сети (grid). Существует несколько основных подходов к определению этого параметра в ГИС. Большинство из них основаны на теории мощности потока (Mitasova, 1996, Moog and Wilson, 1992, Moog and Burch, 1986) или площади, расположенной вверх по склону (Desmet and Govers, 1996), как замены фактической длины склона.

Уравнение может применяться для склонов с длиной менее 300 метров, на которых не происходит аккумуляции наносов, что соответствует природным условиям Беларуси. Объектом исследований являлись стоковые площадки экспериментальной базы «Курасовщина» «Института почвоведения и агрохимии» НАН РБ.

Источником исходных данных для рассмотренного уравнения являются почвенные карты, номограммы эродуемости почвы ( $K$ ), данные метеостанций при установлении фактора эрозионной интенсивности дождя ( $R$ ), стереоданные аэрокосмической съемки – для определения топографического фактора  $LS$ . Величина среднего многолетнего эрозионного индекса ( $R$ ) за вегетационный период для Минского района, в пределах которого расположен изучаемый эталонно-калибровочный участок (ЭКУ) «Курасовщина», составляет 12,0 [2].

Величина параметра  $K$  (коэффициента эродуемости почвы), определяемого гранулометрическим составом почвы, рассчитана по 20-летним наблюдениям Белорусского института почвоведения и агрохимии для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв ЭКУ «Курасовщина» и составляет 3,7 т/га на единицу  $R_{30}$  [1]. Информация о значении параметра эродуемости почвы для всех основных почвенных разновидностей содержится на специальных номограммах эродуемости почв.

Наиболее достоверное построение ЦМР основано на данных топографической съемки, однако проведение подобных исследований на обширных или труднодоступных территориях зачастую невозможно или экономически невы-

годно, поэтому целесообразно использование эффективных инструментов построения ЦМР по стереоданным аэрофото- и космосъемки, в частности для целей почвенно-эрозионного моделирования (определения факторов  $L$  и  $S$ ), что требует решения ряда вопросов по определению оптимального разрешения ЦМР при вычислении уклонов и длин склонов, входящих в универсальное уравнение.

При выявлении эродированных почв наиболее эффективно и обоснованно использование стереопар аэрокосмических снимков масштаба 1 : 25 000 и 1 : 10 000, а также космических снимков высокого пространственного разрешения (Ikonos).

Основным видом модели рельефа в модуле PHOTOMOD DTM является нерегулярная пространственная сеть треугольников – TIN (Triangulated Irregular Network). Нерегулярная модель рельефа TIN предназначена для последующего создания по ней регулярной модели – матрицы высот (ЦМР), а также горизонталей.

Опорные точки, на основании которых была построена ЦМР, были получены с использованием GPS-приемников в процессе полевых исследований. С помощью векторных объектов (структурных линий) уточнялись такие элементы поверхности, как бровки, тальвеги и т. п., что находило применение при создании модели рельефа территории с развитой овражно-балочной сетью.

В данном случае TIN построена посредством триангуляции существующих векторных объектов. Точки объектов становятся вершинами TIN'a, а линии – структурными линиями (рис. 1). Этот метод удобен при наличии большого количества 3D-векторных объектов (достаточного для описания рельефа), так как он исключает ошибки, связанные с работой коррелятора.

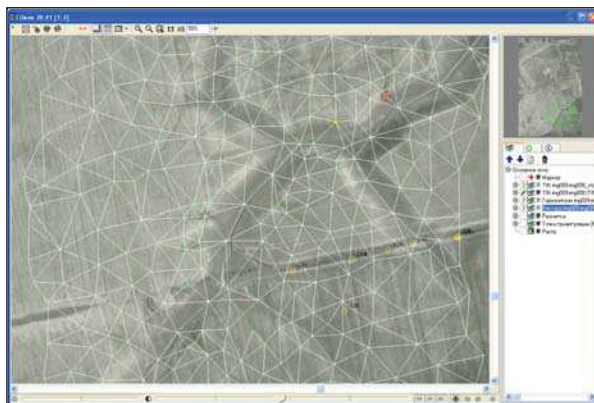


Рис. 1. TIN по векторным объектам на ЭКУ «Курасовщина»

Модель рельефа, представленная в виде нерегулярной сети треугольников TIN, является исходным материалом для построения регуляр-

ной модели рельефа – матрицы высот (DEM – Digital Elevation Model) в модуле ArcGis Spatial Analyst (рис. 2).

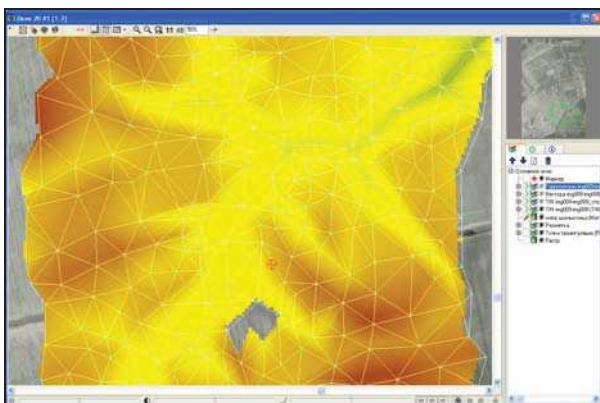


Рис. 2. Построение матрицы высот по TIN на ЭКУ «Курасовщина»

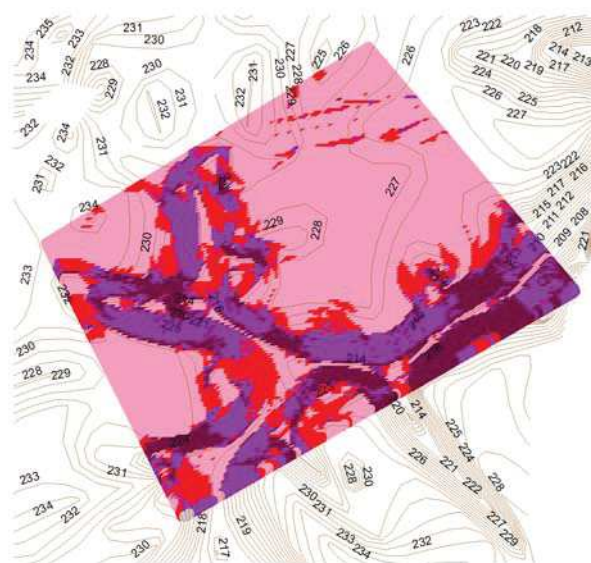
Грид-файл (матрица высот) представляет собой готовую сетку для расчетов при численном решении уравнений, определяющих динамику эрозийных процессов, протекающих на рассматриваемой территории.

Таким образом, трудоемкая процедура задания расчетной сетки для реализации численных алгоритмов решения задач математического моделирования заменяется входящим в пакеты стандартного математического обеспечения ГИС-технологий этапом пространственного представления данных.

Параметры рельефа оценивались с помощью функций гидрологического анализа в ArcGis Spatial Analyst, в результате были определены направления потоков и значения уклона в каждой ячейке. На основе полученных результатов создавались соответствующие растровые слои уклона и накопления потока. Для вычисления значений топографического фактора LS и потенциального смыва почвы в каждой ячейке использовалась функция «Калькулятор растров», позволяющая производить арифметические действия над растровыми слоями факторов, входящих в универсальное уравнение (R, K, L, S). На основании полученных данных была построена карта эрозионной опасности почвенного покрова ЭКУ «Курасовщина» Минского района (рис. 3).

Интервал градации классификации эрозионно опасных почв был получен как разность между максимальным и минимальным значением потенциального смыва почвы на изучаемом ЭКУ, деленная на четыре (количество градаций). Диапазон количественных показателей смыва почв в пределах ЭКУ «Курасовщина» составляет от 5 до более 20,0 т/га. Карты потенциального смыва почвы отображают однородные участки (площади) по интенсивности

вероятного проявления эрозии почвенного покрова, объединяющиеся в агротехнологические группы земель, что позволяет проектировать противоэрозионные мероприятия.



Степень эрозионной опасности  
(потенциальный смыв почвы, т/га в год):  
 ● потенциально слабо эродируемые (<10)  
 ● потенциально средне эродируемые (10–15)  
 ● потенциально сильно эродируемые (15–20)  
 ● потенциально чрезвычайно эродируемые

Рис. 3. Карта эрозионно опасных земель ЭКУ «Курасовщина», составленная на основе модели эрозии почвенного покрова RUSLE

**Заключение.** Использование данных дистанционного зондирования и географических информационных систем позволяет получать данные о параметрах рельефа, что значительно упрощает вычисление потенциального смыва почвы и создание карт эрозионной опасности обширных или труднодоступных территорий.

### Литература

1. Моделирование эрозионных процессов на территории маловодного водосборного бассейна / А. С. Керженцев [и др.]; Ин-т фундамент. проблем биологии РАН. – М.: Наука, 2006. – 224 с.
2. Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионно опасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси. Рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А. Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
3. Эрозия почв. Сущность процесса. Последствия, минимизация и стабилизация / под ред. Д. Д. Ноур; НИИ почвоведения и агрохимии. – Молдова: PONTOS, 2001.

Поступила 14.04.2010