ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ НА ОСНОВЕ УЧЕТА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**А. Н. Червань¹⁾, Д. М. Курлович¹⁾, А. С. Семенюк¹⁾, Х. Венгуанг²⁾,
А. А. Сазонов¹⁾**

¹⁾ *Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь,
chervanalex@mail.ru, kurlovich@bsu.by, geo-semenuk@yandex.ru,
alexey.szonov@gmail.com*

²⁾ *Хуачжунский университет науки и технологии, г. Ухань, Китай*

Приводится краткая характеристика методики выбора репрезентативных в морфометрическом отношении участков агроландшафтов и использования алгоритмов нейронных сетей по увеличению пространственного разрешения цифровых моделей рельефа в условиях проявления процессов водной эрозии почв.

Ключевые слова: цифровая модель; морфометрия; рельеф; алгоритмы нейронных сетей; агроландшафт.

Введение. В современных интенсивных условиях использования земель исключительную значимость и актуальность приобретают исследования, направленные на изучение процессов деградации почвенного покрова агроландшафтов. Это, прежде всего, касается наиболее сложных в экологическом отношении эрозионноопасных территорий. В связи с принятием мировым научным сообществом парадигмы экологизации хозяйственной деятельности, применение новейших методических и технологических разработок должно быть направлено на приведение в соответствие природно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель и возможной интенсивности их использования.

Влияние водной эрозии на состояние почвенно-земельных ресурсов – многогранная актуальная проблема. В области эрозиоведения накоплен огромный эмпирический материал. Более полувека ведутся попытки обобщить собранные данные в виде математических моделей, выражающих зависимость поверхностного смыва почв (т/га в год или мм/год) от климатических, топографических, почвенно-литологических и хозяйственных факторов. Одной из наиболее широко используемых является модель WaTEM/SEDEM v.2004, учитывающая взаимодействие между эрозионным потенциалом дождевых осадков, эродируемостью почв, эрозионным индексом возделываемых культур в среднемноголетнем севообороте и

особенностями рельефа. Алгоритм расчета базируется на модифицированном универсальном уравнении смыва почв RUSLE. В настоящее время отсутствуют единые стандарты и требования к использованию ЦМР при эрозионном моделировании. В разных работах применяются ЦМР разного разрешения, построенные на основе разных источников, характеризующихся различной детальностью отображения рельефа местности. Для проведения эрозионного моделирования в среднем и мелком масштабе используются ЦМР, полученные на основе данных дистанционного зондирования. Все больше работ появляется по увеличению разрешения цифровой модели рельефа с помощью нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения.

Увеличение разрешения и точности цифровой модели рельефа (ЦМР) на основе сверточной нейронной сети и с учетом морфометрических параметров рельефа обеспечивает крупномасштабные исследования процессов деградации сельскохозяйственных земель и в частности таких ее видов как эрозия и подтопление. Выполнение оценок эрозии и подтопления на основе математических моделей предусматривает использование ЦМР и ГИС-моделирования отдельных морфометрических параметров. Рельеф является базовым фактором перераспределения вещественно-энергетических потоков в ландшафтах и выступает в роли «каркаса» эрозионных процессов, определяющего их интенсивность. Получение ЦМР высокого разрешения, необходимых для проведения крупномасштабных исследований крайне затруднительно или дорогостояще. Увеличение разрешения общедоступных моделей рельефа с помощью нейронных сетей актуально для получения исходных данных при математическом моделировании эрозионных процессов и подтопления на землях сельскохозяйственного назначения.

Материалы и методы исследований. Использование нейронной сверточной сети и геоинформационный анализ цифровых моделей рельефа являются методологической основой представленного исследования. Апробация разрабатываемой глобально-локальной сети на основе расчета морфометрических характеристик местности в сверхвысоком разрешении предусматривает геосистемный подход к автоматизированному анализу картометрических параметров местности, автоматизированное дешифрирование и анализ результатов лидарной съемки и геоинформационное моделирование условий землепользования эродированных агроландшафтов. Автоматизированный анализ в базах данных ГИС включает векторизацию

и растеризацию (сплайн, кригинг) данных, автоматизированную переклассификацию, калькулятор растров, GRID- и TIN-моделирование, специальные модули базы геоданных формата ArcInfo.

Результаты и их обсуждение. Поиск и обоснование репрезентативных участков осуществлялись на основе следующих факторов: вертикальное расчленение рельефа, крутизна склона, проявление экстремальных геоморфологических процессов, сельскохозяйственная освоенность земель, интенсивность проявления эрозии на сельскохозяйственных землях. Оценка факторов выполнялась на уровне административных районов Беларуси. В качестве исходных использовались соответствующие карты Национального атласа Беларуси, результаты морфометрического анализа рельефа и сопутствующие тематические базы данных. Принималось во внимание морфометрическое районирование Беларуси, разработанное Д.М. Курловичем на основе таких показателей как абсолютная высота, м; глубина расчленения рельефа, м/км²; густота расчленения рельефа, м/км²; крутизна склонов. Согласно схеме морфометрического районирования, территория Беларуси подразделяется на 5 областей и 60 районов.

Область Полоцкой низины охватывает региональный гипсометрический уровень одноименной низины с окружающими ее на западе небольшими по площади грядовыми равнинами. Она занимает 8 % территории Беларуси. Рельеф здесь преимущественно мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, преобладают очень сильно пологие склоны.

Область Центрально- и Восточно-Белорусских возвышенностей и равнин занимает региональный гипсометрический уровень Белорусской гряды. Ее площадь составляет 32 % территории республики. Рельеф здесь средне- и мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, по площади доминируют очень сильно пологие и очень пологие склоны.

Область низин бассейна р. Неман охватывает региональный гипсометрический уровень Неманской и Вилейской низин, занимает в пределах Беларуси лишь 5 % ее территории. Преобладает рельеф мелкорасчлененный по вертикали, умеренно расчлененный по горизонтали с очень сильно пологими склонами.

Область Предполесских равнин занимает 25 % территории республики и охватывает серию равнин, представляющих собой региональный гипсометрический уровень, занимающий промежуточное положение между возвышенностями Белорусской гряды и низинным Полесьем. Рельеф здесь мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, доминируют по площади очень сильно пологие склоны.

Область Полесской низины охватывает региональный гипсометрический уровень одноименной низины. Она занимает 30 % территории Беларуси. Рельеф очень мелкорасчленен и мелкорасчленен по вертикали, умеренно расчленен по горизонтали, доминируют по площади очень сильно пологие склоны.

Выбор административных районов для размещения репрезентативных участков был выполнен на основе сопряженного анализа карт вертикального расчленения рельефа, крутизны склонов, экстремальных геоморфологических процессов, эрозии почв и сельскохозяйственного освоения земель.

Сформированная структура базы геоданных включает тематические блоки геоморфологических, почвенных, климатических, растительных и агротехнологических характеристик репрезентативных участков. Увеличение пространственного разрешения ЦМР производилось по трем типам нейронных алгоритмов: билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция и чересстрочная развертка. Билинейная интерполяция (*bilinear interpolation*) использует для определения значения ячейки выходного растра значения четырех ячеек, ближайших к центру выходной ячейки. Выходное значение представляет собой среднее этих четырех значений, вычисленное с учетом веса, определяемого расстояниями от центра выходной ячейки до центров соответствующих входных ячеек. Принцип действия бикубической интерполяции (*bicubic interpolation*) аналогичен билинейной, за исключением того, что среднее значение искомой ячейки с учетом веса, зависящего от расстояния, вычисляется по 12 ближайшим ячейкам. Чересстрочная развертка (*interlace*) – метод хранения и отображения изображений, при котором информация о каждом пикселе хранится и отображается построчно, но, в отличие от построчной развертки, каждая строка начинается с разных позиций.

Данные нейронные алгоритмы были опробованы для трех масштабных уровней преобразованной ЦМР – с увеличением в 4, 8 и 16 раз.

Для того чтобы определить влияние детальности ЦМР на результаты эрозионного моделирования, на примере растров, полученных на территорию репрезентативного участка № 2, расположенного у д. Курсевичи Поставского района, была рассчитана статистика по ячейкам.

Полученные для растров значения максимального и среднего значений LS-фактора и среднеквадратического отклонения представлены в таблице 1. В качестве контрольных значений использовалась статистика по ячейкам растра LS-фактора, рассчитанного по исходной ЦМР без использования нейронных алгоритмов.

Статистика по ячейкам растров LS-фактора, рассчитанного по исходному и преобразованным цифровым моделям рельефа

Тип нейронного алгоритма	Увеличение детальности, раз	Максимальное значение LS-фактора	Среднее значение LS-фактора	Средне-квадратическое отклонение
Сложности местности	4	13,80	0,17	0,30
	8	22,11	0,18	0,32
	16	33,86	0,19	0,34
Диска Пуассона	4	27,88	0,17	0,40
	8	48,68	0,17	0,42
	16	204,28	0,16	0,59
Исходная ЦМР без преобразований		10,26	0,38	0,84

Анализ таблицы показывает, что из полученных с помощью нейронных алгоритмов изображений наиболее информативными оказались растры с наименьшим увеличением (в 4 раза). При значительном увеличении пространственного разрешения (в 8 и особенно в 16 раз) средние значения LS-фактора также уменьшаются в 2 и 4 раза соответственно по сравнению с 4-кратным увеличением. Это происходит вследствие того, что с увеличением детализации эрозионные формы рельефа с высокими значениями LS-фактора занимают меньшее число ячеек по сравнению с мелкомасштабными изображениями, а большая часть остальных ячеек принимает значения, близкие к нулю.

Заключение. Проведенные исследования показали, что с увеличением детальности ЦМР с помощью рассмотренных нейронных алгоритмов эрозионные формы рельефа локализуются в ограниченном пространстве, при этом небольшие перепады значений LS-фактора на основной территории агроландшафтов теряются и стремятся к нулю. В целом в результате работы нейронных алгоритмов получаются более четкие и контрастные изображения, что позволяет точнее определять наиболее уязвимые участки сельскохозяйственных земель, нуждающиеся в первоочередном проведении противоэрозионных мероприятий независимо от физико-географического положения оцениваемых агроландшафтов.