ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ МЕТОДАМИ ГЕОМОРФОМЕТРИИ

О.В. Рухович, к.б.н., ВНИИА, Л.С. Шарая, к.б.н., ИЭВБ РАН,
П.А. Шарый, к.б.н., ИФХиБПП РАН, В.А. Романенков, к.б.н., ВНИИА

Для расчета матриц и карт потенциала пространственного распределения ряда характеристик урожая озимой пшеницы в бассейне р. Оки применяется расширенная система количественных характеристик рельефа. Для расчета используются методы множественной регрессии, материалы из базы данных геосети «Агрогеос» и данные о рельефе SRTM30. Показана перспективность этих методов и данных для оценки и прогнозирования урожая озимой пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожай, база данных, пространственная изменчивость, рельеф, геоморфометрия, множественная регрессия.

Обоснование цели исследования. Урожай в агроландшафте определяется взаимодействием и взаимовлиянием общего комплекса факторов. Изменения гидротермических, микроклиматических и почвенных факторов в агроландшафтах трудно предсказуемы. Рельеф же изменяется со временем достаточно медленно, по этой причине может служить надежным инвариантом для формирования карт на основе анализа пространственных изменений в многолетних опытах.

Известны многочисленные попытки качественной и количественной оценки варьирования различных характеристик агроландшафтов посредством изучения их корреляционных связей с отдельными характеристиками рельефа. Многими авторами было показано, что склоны полярных экспозиций существенно различаются по количеству поступающей солнечной радиации, весенним запасам продуктивной влаги [5], поверхностному стоку и смыву почвы, температурному, водному и питательному режимам почвы [3,6], что в конечном итоге сказывается на плодородии почвы, эффективности удобрений и урожайности сельскохозяйственных культур [1] и даже на поражаемости растений болезнями [2].

Наука о количественном анализе земной поверхности – рельефа – известна под названием *геоморфометрия*. Она оперирует морфометрическими величинами (МВ), то есть характеристиками рельефа, и связанными с ними понятиями. Список базовых (не составных) МВ оставался до недавнего времени ограничен шестью (высота, крутизна, экспозиция, горизонтальная и вертикальная кривизны, площадь сбора). Затем был введен расширенный набор 18-ти базовых МВ вместе с описанием смысла каждой [11].

Целью настоящей работы является изучение возможностей использования расширенной системы базовых морфометрических величин для анализа особенностей пространственного распределения различных показателей урожая озимой пшеницы в агроландшафтах Окского бассейна.

Методика. Были использованы данные из Единой систематизированной базы данных «Агрогеос», разрабатываемой в настоящее время на основе полевых опытов, проводимых Геосетью и Агрохимслужбой с разными культурами, в разное время, с разными целями и на огромной территории с большим разнообразием почвенно-климатических условий [4]. Для обработки были отобраны результаты полевых опытов с озимой пшеницей, проводившихся в разные годы на территории Московской, Тульской, Владимирской, Орловской, Рязанской, Смоленской, Ивановской, Тамбовской, Нижегородской областей и республики Мордовия, расположенных в пределах бассейна р. Оки. Бассейн – это относительно замкнутая экосистема, с взаимодействием и взаимозависимостью ее составляющих; поэтому представляется возможным изучать связь рельефа, например, с урожаем и качеством урожая озимой пшеницы в агроландшафтах в пределах именно этой территории.

Были использованы следующие результаты полевых опытов с удобрениями: общий урожай, урожай основной продукции (зерно), побочной продукции (солома), содержание белка, вынос белка с 1 га – данные на контроле и средние по вариантам с удобрениями. Если на одной точке проводилось несколько опытов в течение нескольких лет, то использовались средние данные по контролям и усредненные данные по всем вариантам. Это делалось с целью получения среднего многолетнего значения используемого показателя по контролю и среднего многолетнего значения показателя при использовании удобрений. В результате такой обработки были отобраны данные с 39 площадок (точек).

Географические привязки изучаемых опытов также взяты из Единой систематизированной базы данных «Агрогеос». Методика привязки – по паспортным данным и размерам опытного участка [4].

Данные о высотах земной поверхности взяты из матриц высот НАСА SRTM30, преобразованы в матрицу в проекции Каврайского с разрешением 600 м. Анализ связей в линейной множественной регрессии осуществлялся с использованием непараметрической статистики, в которой не предполагается нормальное распределение сравниваемых наборов величин.

Для получения матрицы высот из SRTM30, расчета МВ, определения статистических связей с помощью корреляции и множественной регрессии, а также для построения карт-схем характеристик урожая использовали компьютерную программу «Аналитическая ГИС Эко» [12].

Множественная регрессия дает наложение карт (матриц) с весами, рассчитанными из статистического сравнения измеренной характеристики агроэкосистемы с выбранными МВ для площадок с известными плановыми координатами. Список МВ представлен в таблице. Все линейно независимые тройки из 18-ти МВ (таких сочетаний 800) рассчитывали в программе и из них отбирали те, которым отвечает наиболее высокий ранговый коэффициент корреляции Спирмана r_S. Выбранные три МВ есть основные предикторы, изменению в пространстве которых в первую очередь следует данная характеристика экосистемы.

Так, уравнение регрессии для общего урожая (контроль) есть

$X = 18{,}1 \cdot Z + 24{,}9 \cdot GA - 42{,}3 \cdot F(35{,}215) + 48{,}4$ (r_S=0,54; $P<10^{-3}$),

а среднего по вариантам с удобрениями –

$X = 23{,}5 \cdot Z + 27{,}3 \cdot GA - 35{,}9 \cdot F(35{,}215) + 56{,}4$. ($r_S$=0,53; $P<10^{-3}$).

Основными предикторами в обоих случаях являются положение поля на склоне, а также крутизна и освещенность склонов.

Результаты. Установлено, что на формирование урожая наибольшим образом влияет относительное положение поля на склоне, крутизна этого склона и его освещенность. Потенциал урожая уменьшается на более крутых склонах, освещенных с юго-запада (рис.1). Для потенциала соломы на территории Окского бассейна основными предикторами являются те же $+Z$, $+GA$, $-F(35{,}210)$, что и для потенциала урожая (знак перед МВ отвечает знаку в уравнении множественной регрессии). А вот формирование потенциала зерна зависит от $+Z$, $-F(35{,}255)$, $-M$, то есть положения поля на склоне, причем уменьшается на пологих склонах, особенно при освещении с юго-западной стороны (рис.2). Практически это соответствует условиям формирования потенциалов как соломы, так и урожая в целом. Использование недостаточно представительного набора МВ может давать низкие коэффициенты корреляции, приводя к статистически незначимой связи, в то время как

при использовании расширенной системы МВ связь в большинстве случаев статистически значима ($P<10^{-3}$).

Расширенная система базовых морфометрических величин			
№	Название МВ	Обозначение	Что описывает
МВ, описывающие поверхностный сток			
0	Экспозиция* склонов	A_0	Направление потоков
1	Крутизна склонов	*GA*	Скорость потоков
2	Горизонтальная кривизна	*kh*	
3	Площадь сбора	*MCA*	1-ый механизм аккумуляции
4**	Дисперсивная площадь	*MDA*	
5	Вертикальная кривизна	*kv*	2-ой механизм аккумуляции
6**	Разностная кривизна	*E*	Сравнивает 1-ый и 2-ой механизмы аккумуляции
7**	Полная аккумуляционная кривизна	*KA*	Выявляет зоны относительной аккумуляции и сноса
МВ, описывающие расчлененность рельефа			
8**	Полная кольцевая кривизна	*KR*	Извилистость потоков
9**	Горизонтальная избыточная кривизна	*khe*	Эти две МВ расщепляют извилистость потоков на две компоненты
10**	Вертикальная избыточная кривизна	*kve*	
11**	Ротор	*rot*	Направление поворота линий тока
МВ, описывающие память в ландшафтах			
12**	Несферичность	*M*	Отличие формы рельефа в точке от сферической «Равновесную» (минимальную) поверхность, имеющую минимальную при данной границе площадь***
13**	Средняя кривизна	*H*	
14**	Максимальная кривизна	*kmax*	Гребневые формы рельефа
15**	Минимальная кривизна	*kmin*	Килевые формы рельефа
16**	Полная гауссова кривизна	*K*	Не меняется при изгибании поверхности
МВ, описывающие терморежим склонов			
17**	Освещенность склонов	*F*	Интенсивность прямого солнечного излучения
МВ, описывающие высотную зональность			
18	Высота земной поверхности	*Z*	Изменение температуры и давления атмосферы

* Экспозиция не использовалась в работе для статистических сравнений.
** МВ, которые не использовались для анализа в работах других авторов.
*** Средняя кривизна описывает также оба механизма аккумуляции

Практически для всех изучавшихся качественных и количественных характеристик урожая озимой пшеницы в агроэкосистемах Окского бассейна освещенность склонов с юго-запада оказывается в числе ведущих предикторов, что отражает важность пространственной изменчивости гидротермического режима местности для агроэкосистем.

В последние десятилетия подходы с использованием абиотических факторов окружающей среды, не только рельефа, как индикаторов изучаемой экосистемы стали все шире использоваться в литературе и получили известность как методы «предсказательного картирования» (predictive mapping) в почвоведении [10], геоботанике [7] и экологии [8]. Тем не менее, МВ оказываются наиболее важными среди других растровых данных [9]. Приведенные в работе примеры показывают, что методы «предсказательного картирования» можно применять и в агрохимическом мониторинге для анализа агроэкосистем.

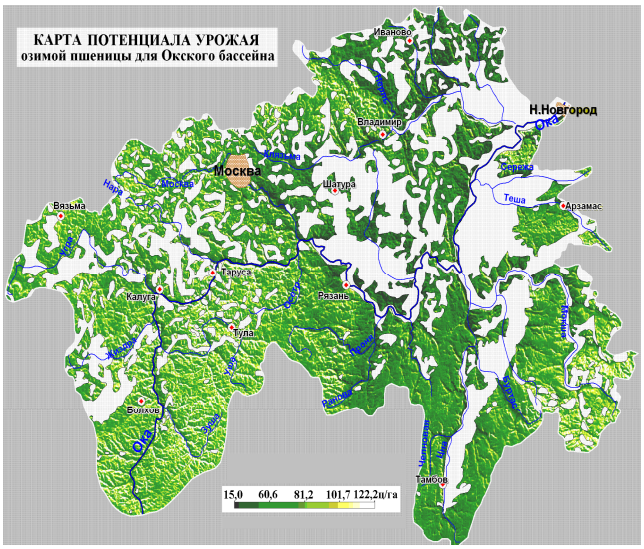

Рис. 1. Карта-схема потенциала урожая озимой пшеницы для Окского бассейна. Белым показаны основные лесные массивы местности

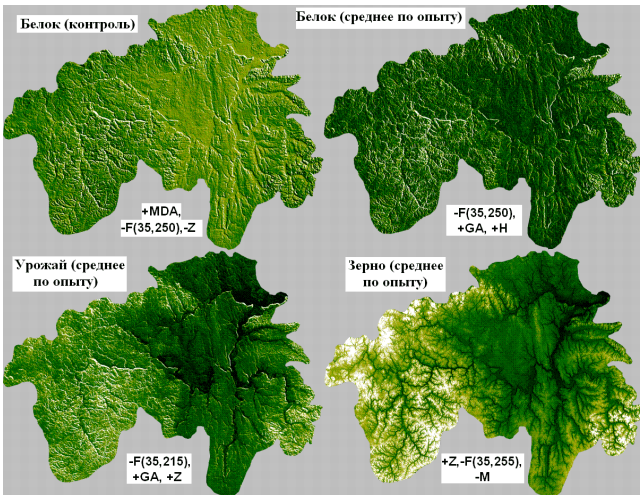

Рис. 2. Карты потенциала характеристик урожая озимой пшеницы в агроэкосистемах Окского бассейна. Легенда: светлее – значения больше

Литература

1. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. - М.: Колос, 1997. - 240с. 2. Крупчатников А.И., Светов В.Г. Пораженность болезнями и продуктивность озимой пшеницы на склонах разных экспозиций // Науч.-техн. бюл. - ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, 1989. - Т.3-4. - С.44-48. 3. Проценко Е.П. Базовые свойства и режимы почв полярно ориентированных склонов / Автореферат… дисс. доктора с/х наук. – Курск, 2004. - 46с. 4. Сычев В.Г., Рухович О.В., Романенков В.А., Беличенко М.В., Листова М.П.. Опыт создания единой систематизированной базы данных полевых опытов Агрохимслужбы и Геосети «Агрогеос» // Проблемы агрохимии и экологии, 2008. – N.3. - С.35-38. 5. Тищук Л.А., Хох Н.Я., Жилко В.В. Влаго- и теплообеспеченность смытых дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв на склонах / Климат почв. - Пущино, 1985. - С.42-45 1985. 6. Чуян Г.А. Научные основы регулирования плодородия типичных черноземов на склоновых землях (в условиях Центрально-Черноземной зоны): Дис. …д-ра с.-х. наук в форме науч. докл. - Курск, 1994. - 57с. 7. Lees B.G., Van Niel K.P., Laffan S.W. Predictive vegetation mapping and DEM error / International Symposium on Terrain Analysis and Digital Terrain Mapping (TADTM 2006), held November 23-25, 2006, in Nanjing, China. Proceedings of TADTM 2006. - P.42-45. 8. MacMillan R.A., Torregrosa A., Moon D., Coupe R., Philips N. Automated predictive mapping of ecological entities / Hengl T., Reuter H.I. (editors). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Volume 33. - Amsterdam etc.: Elsevier, 2009. - Chapter 24. - P.551-578. 9. McBratney A.B., Odeh I.O.A., Bishop T.F.A., Dunbar M.S., Shatar T.M. An overview of pedometric techniques

for use in soil survey // Geoderma, 2000. - V.97. - N.3-4. - P.293-327. 10. Scull P., Franklin J., Chadwick O.A., McArthur D. Predictive soil mapping: a review // Progress in Physical Geography, 2003. - V.27. - N.2. - P.171-197. 11. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // Geoderma, 2002. - V.107. - N.1-2. - P.1-32. 12. Shary P.A. Geomorphometry. 2006. - Website http://www.giseco.info/

Case Studies in Predicting Features of Winter Wheat for Agrolandscapes of the Oka River Basin Using Methods of Geomorphometry

O.V. Rukhovich, L.S. Sharaya*, P.A. Shary**, V.A. Romanenkov,

D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, e-mail: o_ruhovich@mail.ru, *Institute of Volga Basin Ecology, Russian Academy of Sciences, ul. Komzina, 10, Tol'yatty, 445003 Russia **Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, ul. Institutskaya 2, Pushchino, Moscow oblast, 142290 Russia

Summary. *An extended system of quantitative topographic attributes is applied to calculate the matrices and maps of spatial distribution potentials for some features of winter wheat in the Oka River basin. A multiple regression approach, data from the Agrogeos geonetwork database, and SRTM30 elevation data are used for calculations. It was demonstrated that these methods and data are promising for the evaluation and prediction of winter wheat crop features.*

Key words: *winter wheat, crop features, database, spatial variability, topography, geomorphometry, multiple regression.*