

АГРОЭКОЛОГИЯ

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ АГРОЛАНДШАФТА

О.В. Рухович, к.б.н., ВНИИА, П.А. Шарый, к.б.н., Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Л.С. Шарая, к.б.н., Институт экологии Волжского бассейна РАН

Представлены результаты пространственно явного (т.е. выражающегося картами) моделирования основных сельскохозяйственных культур в Тверской области. При использовании рельефа, климата, широты и долготы в качестве предикторов, от 59 до 83% пространственной изменчивости максимальной прибавки к урожаю шести культур, получаемой при внесении оптимальной дозы удобрений, объяснялось этими предикторами. Почти для всех культур максимальная прибавка была более тесно связана с предикторами, чем контроль или максимальный урожай. Характеристики микроклимата играли важную роль для всех культур.

Ключевые слова: травы, овес, ячмень, озимая рожь, озимая пшеница, картофель, множественная регрессия.

Наличие обширной информации об условиях и результатах проведения географически привязанных полевых опытов, собранных в единой базе данных Агрохимслужбы и Геосети «Агрогеос» [1], позволяет выявлять закономерности пространственной изменчивости характеристик урожайности различных сельскохозяйственных культур в их связи как с условиями рельефа, климата и почв, так и с агротехнологиями различной интенсивности.

На этой основе, используя расширенную систему 18 количественных характеристик рельефа – морфометрических величин (МВ) [5] и регрессионный анализ пространственной изменчивости различных параметров урожая, а также дополнительных данных о климате и типах почв, была разработана методология [2] расчета пространственно явных моделей урожайности сельскохозяйственных культур для отдельных областей.

Эта методология была применена к озимой пшенице на западе Окского бассейна [2]. В настоящей работе анализируются и сравниваются закономерности пространственного распределения различных показателей урожайности основных культур в Тверской области.

С помощью методов множественной регрессии выявляли связи характеристик урожайности с рельефом, климатом и географическим положением (широтой и долготой), на их основе рассчитывали матрицы характеристик урожайности (разрешения 600 м в плане), осуществляли верификацию моделей, строили карты. Все расчеты проводили в программе «Аналитическая ГИС Эко». Источники дополнительных данных были следующие.

1) *О рельефе* – матрица высот НАСА SRTM30 [4] с разрешением 30". По ней также рассчитывали матрицы 18 других характеристик рельефа.

2) *О климате* – матрицы средних за 50 лет (с 1950 по 2000 гг.) осадков и температур для каждого месяца с тем же разрешением [3]. По ним также рассчитывали матрицы сезонов, среднегодовые, суммы активных температур.

Все данные пересчитывали на разрешение 600 м в плане. Результатом расчета были: выявление ведущих факторов, оказывающих наибольшее влияние на изучаемую характеристику урожайности культуры; получение сведений о статистических связях (их тесноте и уровнях значимости) между изучаемыми характеристиками, а также прогнозные (предсказательные) карты урожайности сельскохозяйственных культур при существующих севооборотах для нескольких уровней интенсивности технологий. Верификацию моделей множественной регрессии проводили по методике кросс-валидации; успешно прошедшей верификацию считали модель, для которой показатель деградации при предсказаниях в новых точках наблюдения был меньше 50% [2].

Рассчитывали и изучали следующие (усредненные по годам) **характеристики урожайности**: Ох – максимальный урожай, получаемый при оптимальном внесении удобрений, характери-

зует интенсивную технологию землепользования; К – (контроль) урожай, получаемый без внесения удобрений, характеризует экстенсивную технологию; Ох-К – максимальная прибавка, определяемая как разность между Ох и К, отвечает возрастанию урожая при оптимальном внесении удобрений.

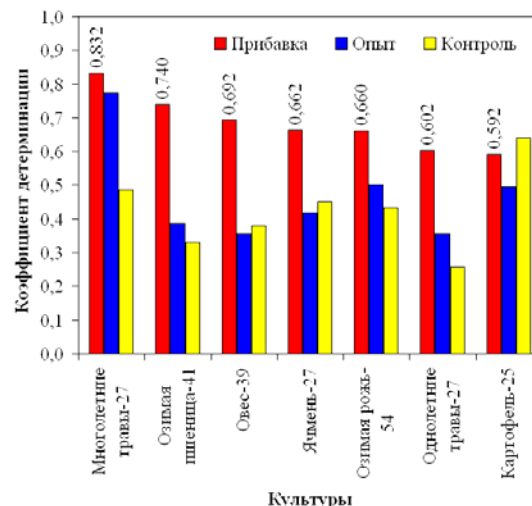


Рис. Теснота связи прибавки Ох-К, опыта Ох и контроля К с факторами среды для различных культур. Число после названия культуры показывает объем выборки. Результаты для озимой пшеницы относятся к западу Окского бассейна [2], остальные – к Тверской области.

1. Факторы, влияющие на урожайность овса в Тверской области

Факторы, включенные в регрессионную модель	Коэфф. регрессии	Вклад фактора*, %
<i>Для максимальной прибавки (Ох-К)</i>		
Свободный член	- 313,9	
Средняя кривизна (отрицательное значение отвечает средневогнутым по форме склонам: долинам и др.)	- 2,522	41,3
Освещенность склонов с юга	+ 6,190	32,9
Северность склонов (описывает насколько экспозиция склонов далека от южной)	+ 1,696	13,1
Средняя многолетняя температура воздуха в июле	- 1,907	12,7
Количество объясненной моделью изменчивости**, %		69,2
<i>Для интенсивной технологии (Ох)</i>		
Свободный член	- 307,2	
Горизонтальная кривизна (описывает отрицательным знаком вогнутые отроги)	- 3,078	29,9
Крутизна склонов	+ 10,05	23,7
Квадрат крутизны склонов	- 15,55	23,5
Освещенность склонов с юга	+ 5,744	23,2
Количество объясненной моделью изменчивости, %		35,6
<i>Для экстенсивной технологии (К)</i>		
Свободный член	+ 71,90	
Горизонтальная избыточная кривизна (описывает расчлененность, изрезанность местности)	- 14,70	30,7
Несферичность (описывает вытянутость форм рельефа, их удаленность от сферической формы)	+ 17,64	26,0
Средняя многолетняя сумма осадков за январь, февраль, март, апрель и октябрь	- 0,3221	25,8
Переменная, принимающая большие значения на пологих склонах восточной экспозиции и малые – на пологих склонах северной экспозиции	- 0,4092	17,5
Количество объясненной моделью изменчивости, %		37,8

*Модуль t-статистики, % (за 100% принята их сумма).

**Оценен как умноженный на 100 коэффициент детерминации.

Как правило, наиболее тесные связи с факторами среды (рельефом, климатом и типами почв) характерны для максимальной прибавки Ох–К (рис.). Это связано, по-видимому, с тем, что в этом показателе за счет вычитания частично теряется информация об истории сельскохозяйственных полей, не всегда достаточно хорошо известной и трудно поддающейся количественному описанию, т. е. играющей при статистическом анализе роль снижающих тесноту связей «шумов». Во всех случаях в число главных факторов среды для Ох–К входила одна из характеристик микроклимата – освещенность склонов с юга или с юго-запада или одна из компонент экспозиции склонов (обычно отвечающая южным или юго-западным склонам).

Регрессионные модели связи прибавки Ох–К с факторами среды для всех культур успешно прошли верификацию по указанному выше критерию.

Рассмотрим результаты расчетов по трем культурам – овсу, ячменю и озимой ржи, составляющим типичный севооборот в Тверской области.

Максимальная прибавка овса возникает при расположении полей на северных склонах, в средневыпуклых формах рельефа, освещенных с юга, при не слишком высокой среднемноголетней температуре июля (табл. 1).

Что касается ячменя, то его максимальная прибавка отвечают высочайшим среднемноголетним осадкам июня, теплые юго-западные склоны и округлые (не вытянутые) формы рельефа (табл. 2).

2. Факторы, влияющие на урожайность ячменя в Тверской области

Описание факторов, включенных в регрессионную модель	Коэфф. регрессии	Вклад фактора, %
<i>Для максимальной прибавки (Ох-К)</i>		
Свободный член	- 336,1	
Средние многолетние осадки июня	0,7977	37,2
Освещенность склонов с юго-запада	5,164	29,8
Долгота (м)	+0,0000140	20,7
Несферичность (описывает вытянутость форм рельефа, их удаленность от сферической формы)	- 4,828	12,3
Количество объясненной моделью изменчивости, %		66,2
<i>Для интенсивной технологии (Ох)</i>		
Свободный член	49,64	
Широта (м)	-0,0000257	35,1
Переменная, имеющая положительное значение для северо-западных склонов и отрицательное – для юго-восточных	3,859	24,4
Квадрат высоты	0,001975	21,6
Высота	- 0,07054	18,9
Количество объясненной моделью изменчивости, %		41,7
<i>Для экстенсивной технологии (К)</i>		
Свободный член	72,81	
Широта (м)	-0,0000228	29,6
Средние многолетние осадки июня	- 0,7514	29,4
Топографический индекс влажности почв (описывает площадь водосбора с учетом эффектов выполаживания склонов)	0,4828	21,0
Переменная, имеющая положительное значение для северо-восточных склонов и отрицательное – для юго-западных	3,581	20,1

Evaluation of crop yields depending on the environmental conditions

O.V. Rukhovich¹, P.A. Shary², L.S. Sharaya³

¹Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, E-mail: o_rukhovich@mail.ru

²Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Sciences, Russian Academy of Sciences, ul. Institutskaya 2, Pushchino, Moscow oblast, 142290 Russia, E-mail: p_shary@mail.ru

³Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, ul. Komzina 10, Tolyatti, Samara Region, 445003 Russia, E-mail: l_sharaya@mail.ru

Results of spatially explicit (expressed by maps) simulation of the main agricultural crops in the Tver oblast are presented. When topography, climate, latitude, and longitude were used as predictors, 59 to 83% of spatial variability in the maximal yield gain of six crops obtained at the application of optimal fertilizer rates was due to these predictors. For almost all crops, this maximal gain was more strongly related to the predictors than the control or the maximal yield. Microclimate features played an important role for all crops.

Keywords: grasses, oat, barley, winter rye, winter wheat, potato, multiple regression.

Количество объясненной моделью изменчивости, %	45,0
--	------

Для озимой ржи максимальная прибавка формируется на крутых северных склонах с низкими суммами активных температур и высокими осадками февраля (табл. 3). Иными словами, для ведения интенсивной технологии оказался значимым такой фактор, как климатические условия вегетации и перезимовки проростков. Положительная связь прибавки со средними многолетними осадками февраля была ранее показана также и для озимой пшеницы на западе Окского бассейна [2].

3. Факторы, влияющие на урожайность озимой ржи в Тверской области

Описание факторов, включенных в регрессионную модель	Коэфф. регрессии	Вклад фактора, %
<i>Для максимальной прибавки (Ох-К)</i>		
Свободный член	150,6	
Кругизна склонов	6,029	36,4
Освещенность склонов с юга	- 2,235	24,1
Сумма активных температур (>10°C)	- 0,01308	24,1
Средние многолетние осадки февраля	0,4125	15,4
Количество объясненной моделью изменчивости, %		66,0
<i>Для интенсивной технологии (Ох)</i>		
Свободный член	375,7	
Освещенность склонов с юго-востока	- 6,534	33,4
Средняя многолетняя температура января	- 1,949	29,4
Квадрат кругизны склонов	+ 14,93	21,9
Полная гауссова кривизна (описывает различие между холмами/депрессиями и седловинами)	+ 2,271	15,3
Количество объясненной моделью изменчивости, %		50,1
<i>Для экстенсивной технологии (К)</i>		
Свободный член	323,0	
Средняя многолетняя сумма осадков апреля, июня, июля и ноября	- 0,2110	33,1
Освещенность склонов с юго-востока	- 4,481	31,7
Полная гауссова кривизна (описывает различие между холмами/депрессиями и седловинами)	+ 2,172	19,6
Ротор (описывает расчлененность, изрезанность местности с учетом направления поворота потоков)	+ 0,8715	15,6
Количество объясненной моделью изменчивости, %		43,2

Литература:

1. Сычев В.Г., Рухович О.В., Романенков В.А. и др. Опыт создания единой систематизированной базы данных полевых опытов Агрохимслужбы и Геосети «Агрогеос» // Проблемы агрохимии и экологии, 2008. - №3. - С.35-38.
2. Шарый П.А., Рухович О.В., Шарая Л.С. Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта // Агрохимия. - 2011. - №2. - С.57-81.
3. Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.J., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology, 2005. - V.25. - N.15. - P.1965-1978.
4. Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W., Hensley S. An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639. - Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory, 2005. - 143p.
5. 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