

Исходя из приведенных данных следует, что формирование урожайности различных культур на солонцовых почвах хлоридно-сульфатного засоления имеет свои специфические особенности, что связано с их разной биологией. Поэтому разработку моделей плодородия необходимо проводить для каждой культуры. Это дает возможность не только определить пути повышения плодородия этих почв, но и прогнозировать урожайность возделываемых на них культур. На основе специфичных состояний урожайности по каждому почвенному фактору нами были составлены и прорешены по несколько логических моделей урожайности всех изученных культур. Некоторые из них, обладающие наибольшим прогнозирующим эффектом, представлены в таблице 3.

Таким образом, анализируя результаты многолетних исследований, видно, что несмотря на некоторые различия в степени влияния отдельных свойств почв солонцовых комплексов, а, следовательно, и в моделях их плодородия по каждой культуре, прослеживается вполне определенная закономерность. Урожайность культур на этих почвах ограничивается их засолением, обусловленным влиянием близко залегающих сильно минерализованных грунтовых вод, качественным составом солей, высоким содержанием обменного натрия на многонариевых солонцах, недостатком элементов питания и доступной влаги.

Для большинства изученных культур максимальный урожай получен при глубине залегания солевого горизонта и капиллярной каймы более 70 см от поверхности почвы, содержании токсичных солей менее 0,30-0,15%, запасах гумуса более 160 т/га, обменного натрия менее 10% от емкости обмена в пахотном слое.



Выводы

Исходя из изложенного следует, что основные мероприятия по повышению эффективного плодородия почв черноземно-луговых солонцовых комплексов хлоридно-сульфатного засоления должны быть направлены на регулирование водно-солевого и пищевого режимов этих почв и приближение их к оптимальным параметрам. Для этого необходимо создание однородного пахотного слоя с помощью мелиоративной глубокой обработки, посев культур-фитомелиорантов, гипсование пятен многонариевых солонцов, внесение органических и минеральных удобрений.

Библиографический список

1. Гладков Ю.А., Трофимов И.Т. Исследование зависимости урожайности естественных ценозов и регнерии волокнистой от свойств солонцов луговых хлоридно-сульфатного засоления // Засоленные почвы Алтая, их свойства и мелиорация: сб. ст. – Барнаул, 1980. – С. 29-57.
2. Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в методико-географических исследованиях // Итоги науки. Сер. мед. географии. – М.: ВИНТИ, 1969. – Вып. 3. – С. 5-67.
3. Курсакова В.С. Влияние почвенного засоления на продуктивность и химический состав многолетних трав и их мелиоративная роль: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1983. – 20 с.
4. Трофимов И.Т., Курсакова В.С., Гладков Ю.А. Продуктивность многолетних трав и факторы, определяющие ее на почвах солонцовых комплексов // Повышение эффективности приемов мелиорации почв солонцового комплекса в Западной Сибири. – Омск, 1985. – С. 3-12.

УДК 631.452:631.445.4:001.891.573 (571.15)

**Е.Г. Пивоварова,
А.О. Люцигер,
С.В. Усенко,
А.А. Гаркуша**

РАЗРАБОТКА ЧАСТНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ

Ключевые слова: эффективное плодородие, чернозем выщелоченный, климатические изменения, Алтайское Приобье.

В настоящее время существует широкий спектр моделей плодородия почв [1-4]. Их структура определяется назначением и условиями использования. В основном эти мо-

дели служат для бонитировки (сравнительной оценки) почв, поэтому вполне обоснованно они включают в основном почвенные и климатические параметры. Чаще всего это более или менее устойчивые параметры: зональные климатические коэффициенты (коэффициент увлажнения, гидротермический коэффициент, коэффициент континентальности климата и др.) и наиболее стабильные почвенные свойства (содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, рН, плотность, грансостав и др.). Такой набор параметров позволяет дать оценку потенциального плодородия почв. Эффективное плодородие зависит от потенциального, но степень его проявления определяется метеорологическими условиями конкретного вегетационного периода и комплексом технологических мероприятий при возделывании конкретной культуры (сорта). Сегодня современные методы моделирования позволяют разработать прогнозы метеорологических показателей с определенной точностью (среднегодовые, вегетационные, суточные) [6-8]. Технология выращивания яровой пшеницы дифференцируется по способам основной обработки почв, севооборотам, системам защиты растений и удобрений. Таким образом, управление эффективным плодородием почв сводится к научному обоснованию такого набора технологических параметров, при котором почвенные и климатические условия реализуются в максимальной степени.

Целью эксперимента являлось разработка управляемой математической модели эффективного плодородия чернозема выщелоченного на основе исторических метеорологических данных и результатов многолетнего полевого эксперимента в условиях Алтайского Приобья для долговременных прогнозов урожайности яровой пшеницы на период до 2099 г.

Объекты и методы

В работе использована база данных многолетних наблюдений (1977-2010 гг.), проводимых на метеорологических площадках в г. Барнауле и предоставленных Росгидромет ГУ «Алтайский краевой центр по метеорологии и мониторингу окружающей среды». Для разработки модели урожайности пшеницы были использованы данные многолетнего полевого опыта (заложенного Алтайским НИИСХ в 2000 г.) по изучению влияния отдельных элементов технологии возделывания на урожай яровой пшеницы и его качество.

В опыте выращивались районированные сорта яровой пшеницы (Алтайская-50 в 2001-2005 гг. и Алтайская-100 в 2006-2010 гг.). Севооборот шестипольный

зернопаровой пар-пшеница-овес-пшеница-горох-пшеница, т.е. пшеница выращивалась по 3 различным предшественникам, и вариант выращивания пшеницы бесменно. Опыт заложен на склоне юго-восточной экспозиции крутизной 1-2° на опытном поле Алтайского НИИСХ на черноземе выщелоченном среднемощном малогумусном среднесуглинистом. Схема полевого опыта:

Варианты основной обработки почвы: 1 – глубокая плоскорезная обработка КПГ-250 на 25-27 см; 2 – мелкая плоскорезная обработка КПШ-5 на 14-16 см; 3 – поверхностная обработка КПЭ-3,8 на 8 см.

Варианты защиты растений: 1 – без использования химических средств защиты растений; 2 – Г-1, гербициды против двудольных сорняков (Секатор, 150 г/га или Гран стар, 10 г/га (с 2005 г.)), 3 – Г-2, гербициды против одно- и двудольных сорняков (Пума-супер 100, 06 л/га и Секатор или Гран стар); 4 – ГИФ, комплексная защита растений (гербициды – Секатор или Гран стар и Пума-супер 100, инсектицид – Децис, 0,2 л/га, фунгицид – Фалькон, 0,6 л/га).

Варианты удобрения: 1 – без удобрений; 2 – P₂₅; 3 – N₆₀P₂₅ (азот в форме аммиачной селитры, рядковое предпосевное внесение СЗС-2,1; фосфор – двойной суперфосфат в рядок при посеве).

Экспериментальные исследования, проведенные в 2001-2010 гг. показали преимущество глубокой плоскорезной обработки с осени, замена которой на мелкую и поверхностную приводила к снижению продуктивности пшеницы на экстенсивном фоне от 0,07 до 0,15 т/га в зависимости от предшественника. Отмечено положительное влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. При этом наибольшая продуктивность культуры в опыте, в среднем за 10 лет, наблюдалась при размещении её посевов по пару с внесением удобрений в дозе N₆₀P₂₅ и использованием комплекса химических средств защиты растений против всех вредных объектов на фоне глубокого плоскорезного рыхления [9].

Анализ зависимости урожайности от технологических и климатических параметров производился с помощью информационно-логического анализа. В силу того, что распределение метеорологических и урожайных данных часто не подчиняется закону нормального распределения, статистические параметры дают искаженное представление о тенденциях изменения климата и урожайности во времени. Использование информационного метода [9], основанного на параметрах вероятности и неопределенности (энтропии по С.Е. Shannon [10]), не требует

соответствия эмпирических распределений какому-либо статистическому закону, позволяет вычленять действие отдельных факторов и давать оценку каждого в отдельности. Степень связи между фактором и явлением оценивается с помощью коэффициента передачи информации ($K_{эфф}$), а ее характер через наиболее вероятные состояния функции при определенном состоянии факторов (отношение условных вероятностей с).

Результаты и обсуждение

Информационный анализ зависимости урожайности от среднемесячной температуры воздуха показал (табл. 1), что наиболее тесная связь отмечается в мае ($K_{эфф} = 0,1245$) и в июне ($K_{эфф} = 0,0956$). Специфические состояния урожайности в зависимости от среднемесячной температуры мая позволяют отметить два оптимума. По видимому, это обусловлено многофакторностью связи (влиянием не только температуры, но и количества осадков в этот период) – при достаточном количестве осадков среднемесячная температура более 15°C обеспечивает 5-6-й ранги урожайности, при недостатке влаги в этот период оптимальным будет более низкий уровень температур (13-14°C).

Максимально возможная урожайность яровой пшеницы в условиях эксперимента обеспечивается при среднемесячных температурах июня – 16-17°C, июля – 18-19°C, августа – 16-17°C. Повышение среднемесячной температуры более 20°C в июне-июле и более 18°C в августе сопровождается

снижением урожайности до 2-3-го рангов, т.е. в два раза.

Зависимость урожайности от распределения осадков в течение вегетационного периода оказывает еще более сильное влияние на урожайность по сравнению со среднемесячной температурой, причем характер этой зависимости криволинейный – параболический. Наиболее тесная связь отмечается с количеством осадков мая ($K_{эфф} = 0,1324$) и августа ($K_{эфф} = 0,1189$). Для формирования высокой урожайности оптимальное количество осадков составляет в мае 40-60 мм, июне – 80-100, в июле – 60-80, августе – 20-40 мм.

Влияние технологических факторов на урожайность пшеницы по сравнению метеорологическими существенно ниже (табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что из технологических факторов наибольшее влияние на урожайность пшеницы оказывает предшественник ($K_{эфф} = 0,1389$), максимальная урожайность отмечается по пару и гороху, достигает 2,5-3,0 т/га и более. На порядок ниже теснота связи урожайности с вариантами защиты растений ($K_{эфф} = 0,0217$) и удобрений ($K_{эфф} = 0,0136$). Максимальную урожайность яровой пшеницы (более 3,0 т/га) обеспечивают полная защита растений (ГИФ) и обработка от одно- и двудольных сорняков (Г-2) – 2,0-3,0 т/га.

Влияние основной обработки почвы на урожайность пшеницы слабое ($K_{эфф} = 0,0027$), тем не менее при глубокой плоскорезной обработке обеспечивается более высокий уровень урожайности (2,5-3,0 т/га), по сравнению с мелкой и поверхностной обработками (1,0-1,5 т/га).

Таблица 1

Влияние метеорологических факторов на урожайность пшеницы (по специфическим состояниям)

Фактор	Специфические состояния фактора	Специфические состояния урожайности, ц/га (ранг)	Фактор	Специфические состояния фактора	Специфические состояния урожайности, ц/га (ранг)
Температура, май, °C, $K_{эфф} = 0,1245$	Менее 12	1,5-2,5 (3-4)	Осадки, май, мм, $K_{эфф} = 0,1324$	Менее 20	Менее 1,0 (1)
	12-13	1,0-1,5 и менее (1-2)		20-40	1,0-1,5 (2)
	13-14	2,0-3,0 и более (4-6)		40-60	Более 3,0 (6)
	14-15	2,0-1,0 и менее (1-3)		Более 60	2,5-3,0 (5)
Температура, июнь, °C, $K_{эфф} = 0,0956$	Более 15	2,5-3,0 и более (5-6)	Осадки, июнь, мм, $K_{эфф} = 0,0997$	Менее 40	2,0-3,0 и более (4-6)
	Менее 16	2,5-3,0 (5)		40-60	1,0-2,0 и менее (1-3)
	16-17	1,0-2,0 (2-3)		60-80	1,0-2,0 и менее (1-3)
	17-18	1,5-2,5 (3-4)		80-100	2,5-3,0 и более (5-6)
	18-19	1,0-1,5 и менее (1-2)		Более 100	1,0-2,5 (2-4)
Температура, июль, °C, $K_{эфф} = 0,0384$	19-20	1,5-2,5 (3-4)	Осадки, июль, мм, $K_{эфф} = 0,1053$	Менее 40	2,5-3,0 (5)
	Более 20	Более 3,0 (6)		40-60	1,0-1,5 и менее (1-2)
	Менее 18	1,0-2,0 (2-3)		60-80	2,5-3,0 и более (5-6)
	18-19	1,5-2,5 (3-4)		80-100	1,0-2,0 (2-3)
Температура, август, °C, $K_{эфф} = 0,0638$	Более 20	1,0-2,0 (2-3)	Осадки, август, мм, $K_{эфф} = 0,1189$	Более 100	2,5-3,0 (5)
	Менее 16	Более 3,0 (6)		Менее 20	1,0-1,5 (2)
	16-17	2,0-3,0 (4-5)		20-40	Более 3,0 (6)
	17-18	1,0-2,0 (2-3)		40-60	2,0-3,0 (4-5)
Более 18	1,0-1,5 и менее (1-2)	Более 60	Более 60	1,0-1,5 и менее (1-2)	

Влияние технологических факторов на урожайность яровой пшеницы

Фактор	Специфические состояния фактора	Специфические состояния урожайности, ц/га (ранг)	Фактор	Специфические состояния фактора	Специфические состояния урожайности, ц/га (ранг)
Предшественник, $K_{эфф} = 0,1389$	Пар чистый Горох Овес Бесменная пшеница	Более 3,0 (6) 2,5-3,0 и более (5-6) 1,5-2,5 (3-4) Менее 1,0 (1)	Основная обработка почв, $K_{эфф} = 0,0027$	Глубокая Мелкая Поверхностная	2,5 -3,0 и более (5-6) 1,0-1,5 (2) Менее 1,0 (1)
Химическая защита растений, $K_{эфф} = 0,0217$	Контроль Г-1 Г-2 ГИФ	1,0-1,5 и менее (1-2) Менее 1,0 (1) 2,0-3,0 и более (4-6) Более 3,0 (6)	Удобрения, $K_{эфф} = 0,0136$	Контроль P_{25} $N_{69}P_{25}$	1,0-1,5 (2) 1,0-2,0 (2-3) 2,5-3,0 (5-6)

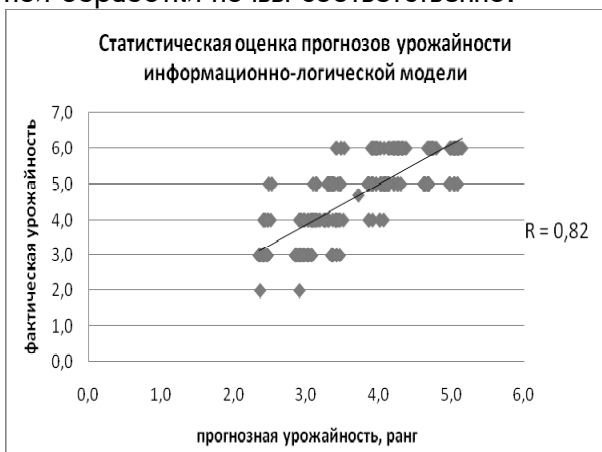
Использование информационно-логического анализа позволило обобщить полученные закономерности в форме математической модели:

$$Y = FC \cdot P_V \cdot t_V \cdot P_{VII} \cdot P_{VII} \cdot P_{VI} \cdot t_{VII} \cdot t_{VIII} \cdot (G \cdot F \cdot T),$$

где Y – ранг урожайности яровой пшеницы; $t_V, t_{VI}, t_{VII}, t_{VIII}$ – ранг урожайности яровой пшеницы, в зависимости от среднемесячной температуры мая, июня, июля, августа месяца соответственно;

$P_V, P_{VI}, P_{VII}, P_{VIII}$ – ранг урожайности яровой пшеницы в зависимости от количества осадков за май, июнь, июль, август соответственно;

FC, G, F, T – ранг урожайности в зависимости от предшественника, варианта защиты растений, варианта удобрений и основной обработки почвы соответственно.



Данная модель обеспечивает безошибочный прогноз в 28-47% случаев, а с ошибкой в 1 ранг – в 74-94% случаев. Регрессионный анализ зависимости фактической и прогнозируемой урожайности представлен на рисунке. Коэффициент корреляции 0,80-0,82 свидетельствует о высокой прогнозирующей способности информационно-логической модели. Полученные результаты предназначены для краткосрочных и долгосрочных прогнозов урожайности яровой пшеницы на базе прогнозируемых метеорологических данных и управления эффек-

тивным плодородием почв с помощью технологических параметров, включенных в модель.

Библиографический список

1. Бурлакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза. – Новосибирск: Наука, 1984. – 194 с.
2. Бурлакова Л.М., Рассыпнов В.А. Плодородие почв Алтайского края: учеб. пособие. – Барнаул, 1990. – 81 с.
3. Крупкин П.И., Топтыгин В.В. Совершенствование способов бонитировки почв (на примере Красноярского края) // Почвоведение. – 1999. – № 12. – С. 1481-1490.
4. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 184 с.
5. Whitea J.W., Hoogenboomb G., Kimballa B.A., Walla G.W. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production // Field Crops Research. – № 124 (2011). – P. 357-368.
6. Arritt R.W., Rummukainen M. Challenges in regional-scale climate modeling Bulletin of the American Meteorological Society. – Boston: Mar, 2011. – Vol. 92. – Iss. 3. – P. 365.
7. Mearns, L.O., C. Rosenzweig, and R. Goldberg. 1997. Mean and variance change in climate scenarios: Methods, agricultural applications, and measures of uncertainty. – Clim. Change 35: 367-396.
8. Meehl G.A., Covey C., Delworth T., Latif M., McAvaney B., Mitchell J.F.B., Stouffer R.J. and Taylor K.E. (2007) The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bul. Am. Met. Soc.* 88: 1383-1394. Nicks, A.D., and G.A. Gander. 1994. CLIGEN: A weather generator for climate inputs to water resource and other models. p. 3-94. *In Proc. 5th Int. Conf. on Computers in Agriculture*, 1994. ASAE, St. Joseph, MI.

9. Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Итоги науки: сер. мед. география / ВИНТИ. – М., 1969. – Вып. 3. – С. 5-71.

10. Shannon C.E. A mathematical theory of communication I. Bell Syst. Tech. J. 27, 1948. – P. 379-423.

Работа выполнена при поддержке международного гранта РФФИ № 10-04-92506-ИК_а и CRDF № RUB1-2988-BR-10.



УДК 634.1/7.047:631.43

**Н.В. Михайлова,
Н.И. Шевчук**

ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ В АГРОЦЕНОЗЕ САДА АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ

Ключевые слова: питомник, сад, почвы, водопроницаемость, водопропрочность почвенных агрегатов, водно-физические свойства.

Введение

За последние десятилетия произошло резкое падение плодородия почв в садах. Одна из причин снижения плодородия почв в садоводстве – это нарушение энергетического баланса вследствие отчуждения питательных элементов с урожаем, большой минерализацией органического вещества, что приводит к снижению продуктивности сада. В садоводстве вопрос ухудшения плодородия почв стоит более остро, чем в растениеводстве. Несовершенная культура земледелия без внесения органических удобрений, несоблюдение садовых оборотов приводят к ухудшению водно-физических, физико-химических свойств почв [1].

Исследования водно-физических свойств почв проведены в саду и питомнике НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, которые относятся к подзоне обыкновенных черноземов умеренно засушливой колочной степи Алтайского края. Алтайские черноземы в связи с континентальностью климатических условий: глубокого промерзания зимой, сильного иссушения и прогревания летом, значительными перепадами осенью и весной отличаются небольшой мощностью, слабой водопропрочной структурой [2].

Л.М. Татаринцевым при изучении устойчивости физических параметров почв к антропогенным воздействиям выявлено, что черноземы лесостепной зоны Алтайского края отличаются очень низкой устойчивостью к механическим обработкам [3]. Вероятно, этим обстоятельством объясняется быстрая выпахиваемость почв.

Объекты исследований

Объектом исследований служили темносерые, серые лесные почвы маломощные

малогумусные среднесуглинистые, черноземы выщелоченные маломощные, среднемощные малогумусные среднесуглинистые и черноземы обыкновенные слабо-, среднесмытые маломощные малогумусные среднесуглинистые.

В гранулометрическом составе преобладают песчаные фракции >0,01 мм, содержание которых составляет в верхних горизонтах 61-70%. Низкое содержание гумуса, обогащение фракцией крупной пыли до 46% обуславливают посредственные водно-физические свойства почв.

Результаты исследований

Проведенные исследования в НИИСС им. М.А. Лисавенко показали, что длительные односторонние механические воздействия на почву привели к существенному ухудшению качества структуры. Количество ее водопропрочных агрегатов в слое 0-40 см уменьшилось до 14-24%. Структурное состояние почвы и ее гумусированность оказывают решающее влияние на плотность, являющуюся основным агрофизическим свойством, которое, обуславливая водно-воздушный режим, оказывает различное влияние на рост и продуктивность растений.

Наблюдения показали, что самая высокая плотность (1,51-1,57 г/см³) отмечена у серых лесных почв, где выращивали саженцы плодовых и ягодных культур (табл. 1). Ухудшение показателей плодородия почв в питомнике происходит в связи с тем, что влияние корневой системы на почву здесь незначительное, органических веществ, поступающих в почву (опад) крайне мало, кроме этого многократные механические обработки почвы усиливают распад органического вещества.

С.Ф. Неговелев, В.Ф. Вальков [4] установили, что при создании благоприятных условий для роста растений в саду не следует допускать переуплотнения почвы с учетом