

УДК 633.16:631.8.022.3

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЯЧМЕНЯ ОТ ГТК И УДОБРЕНИЙ

Мусаев Ф.А., Захарова О.А.

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева», Рязань, e-mail: ol-zahar.ru@yandex.ru

В оптимальные по водообеспеченности годы урожайность зерна ячменя и овса составляла 5,0–5,5 т/га. То есть в производственном процессе зерновых культур южной части Нечерноземной зоны и в становлении зернового комплекса региона большое значение имеют мероприятия, направленные на улучшение условий произрастания растений в неблагоприятных условиях по водообеспеченности. Математически нами был подтвержден тезис о роли минеральных удобрений в борьбе с засухой. Так, при проведении полевого опыта в 2010–2015 гг. при сравнении максимальной урожайности зерна в близких по почвенно-климатическим условиям районах Рязанской области разница за счет неодинаковой обеспеченности минеральными удобрениями с учетом майских и июньских осадков составила около 0,2 т/га. Минеральные удобрения минимизируют негативное проявление засушливых условий и оптимизируют условия произрастания ячменя.

Ключевые слова: агрохимия, гидротермический коэффициент, урожайность, засуха, удобрения, ячмень

BARLEY YIELD DEPENDANCE ON HTC AND FERTILIZERS

Musaev F.A., Zakharova O.A.

FSBEI HPE «Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev»,
Ryazan, e-mail: ol-zahar.ru@yandex.ru

In years with optimal water supply the barley and oats yield has been 5,0–5,5 t/ha. So to grow good grain crops in the southern part of the Nonchernozem belt it is necessary to have some actions in order to improve the plants growth conditions in unfavorable water supply conditions. We have proved mathematically the thesis about the role of mineral fertilizers in drought control. So while having the field experiment in 2010–2015 to compare the maximum grain yield in Ryazan oblast districts having similar soil and climate conditions we have estimated that the difference has been about 0,2 t/ha due to different supply with mineral fertilizers and May and June rainfall. Mineral fertilizers minimize negative drought conditions and optimize barley growth conditions.

Keywords: agro-chemistry, hydrothermal coefficient, yield, drought, fertilizers, barley

Сотрудниками кафедры земледелия под руководством д.с.х.н., профессора Л.В. Ильиной (1970–1990 гг.), а позже д.с.-х.н., профессора кафедры агрохимии, почвоведения и физиологии растений Р.Н. Ушакова (1995–2010 гг.) были проведены многолетние исследования на стационарном поле, результаты которых выявили положительное значение агрохимической составляющей плодородия почвы в обеспечении устойчивого производства сельскохозяйственной продукции. Так, в оптимальные по водообеспеченности годы урожайность зерна ячменя и овса составляла 5,0–5,5 т/га. То есть в производственном процессе зерновых культур южной части Нечерноземной зоны и в становлении зернового комплекса региона большое значение имеют мероприятия, направленные на улучшение условий произрастания растений в неблагоприятных условиях по водообеспеченности. Повышение плодородия серых лесных почв означает, что в условиях почвенной засухи потери зерна можно снизить на 0,3–1,0 т/га.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2010–2015 гг. в различных хозяйствах Рязанской области с целью изучения агрохимического аспекта устойчивости растений

ячменя в севообороте к засухе в южной части Нечерноземной зоны. В статье использовались результаты многолетнего (стационарного) опыта (1970–1990 гг.) по комплексному окультуриванию серой лесной почвы (опыт 1) с внедрением систем удобрений, обработки, севооборотов, проведенного сотрудниками кафедры земледелия под руководством д.с.-х.н., профессора Л.В. Ильиной в нашей модификации. Исследования проведены на базе двух севооборотов, развернутых во времени в течение шести ротаций: 1-й полевой зернопропашной севооборот включал в порядке последовательного чередования викоовсяную смесь (на сено), озимую пшеницу, картофель, ячмень и овес; во 2-й полевой зернотравянопропашной севооборот входили те же культуры, за исключением замены однолетних трав на многолетние – клевер. В первые три ротации возделывались сорта картофеля Темп, ячменя – Луч, вики – Льговская 31/292, овса – Льговский 1026, озимой пшеницы – Мироновская 808. В последние три ротации изменились сорта картофеля и ячменя – выращивали соответственно Невский и Зазерский 85. В севооборотах изучали системы основной обработки почвы с различными методами углубления пахотного слоя и его мощностью. Варианты обработки почвы заложены на трех фонах:

- 1) без удобрений (контроль);
- 2) средние дозы органических и минеральных удобрений;
- 3) высокие дозы органических и минеральных удобрений.

Под ячмень в I и II ротациях севооборота применялась вспашка на 18–20 см, а в III ротации – лемешное лущение на 12–14 см. Дозы удобрений

рассчитывали на основании планируемого урожая и содержания элементов питания в почве. В статье приведены результаты исследований по одной культуре севооборота – ячменю (табл. 1).

Опыт заложен методом расщепленных делянок, варианты обработки почвы в повторениях – методом рандомизации. Повторность – четырехкратная. Размер делянки третьего порядка – 465 м², учетной делянки – 100–250 м². Агротехнические условия возделывания сельскохозяйственных культур во всех ротациях севооборотов были одинаковыми и общепринятыми для зоны.

Результаты исследований и их обсуждение

Значение гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период культурных растений в острозасушливом 2010 году составило 0,3. Ячмень на протяжении большего времени развития находился в стрессовых условиях, о чем

свидетельствует уровень урожайности: в среднем по Рязанской области она составила 1,5–1,7 т/га, что в 1,3–1,5 раза меньше по сравнению с оптимальными по водообеспеченности годами. Этот год можно считать «испытательным» для проверки значения агрохимического состояния плодородия почвы в смягчении вредного действия засухи. В хозяйстве им. Чапаева Рязанского района на серых лесных почвах были проведены обследования посевов ячменя на участках, отличающихся по пищевым фонам (влажность почвы в слое 0–20 см при этом составила в фазу кущения – выхода в трубку 17–19%). Установлены достоверные различия по содержанию обменного калия в почве и его значение в формировании урожайности ячменя в засушливых условиях (табл. 2, 3, 4).

Таблица 1
Система удобрений – фактор В в севооборотах – фактор А (Ильина, 1997)

Севооборот I			Севооборот II		
Культура	Планируемый урожай, ц/га	Доза удобрений NPK, кг /га д.в.	Культура	Планируемый урожай, ц/га	Доза удобрений NPK, кг /га д.в.
Ячмень	24–26	N80P40K30	Ячмень	24–26	N80P40K30
	36–40	N90P100K80		36–40	N90P100K80

Таблица 2
Урожайность ячменя и кукурузы в 2010 г. и содержание обменного калия в почве (0–20 см)

Урожайность, т/га	Обменный калий, мг/100 г	S, т/га	Доверительный интервал		S \bar{x}
			–95%	+95%	
1,3	12,6	0,04	11,9	1,33	0,02
1,7	15,3	0,09	13,8	1,67	0,04

Таблица 3
Результаты дисперсионного анализа урожайности ячменя в засушливых условиях

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅	Sd	HCP ₀₅
Обменный калий, мг/100 г							
Общая	17,08	7	–	–	–	–	–
Повторений	1,15	3	–	–	–	–	–
Фактор А	14,04	1	14,04	22,35	10,13	0,40	1,26
Остаток (ошибки)	1,88	3	0,63	–	–	–	–
Гумус, %							
Общая	1,20	7	–	–	–	–	–
Повторений	0,09	3	–	–	–	–	–
Фактор А	0,18	1	0,18	0,58	10,13	0,28	0,89
Остаток (ошибки)	0,93	3	0,31	–	–	–	–
Легкогидролизующий азот, мг/100 г							
Общая	3,52	7	–	–	–	–	–
Повторений	0,25	3	–	–	–	–	–
Фактор А	0,98	1	0,98	1,28	10,13	0,44	1,39
Остаток (ошибки)	2,29	3	0,76	–	–	–	–

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа урожайности ячменя

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F ₀₅	Sd	HCP ₀₅
Общая	42,83	5	—	—	—	—	—
Повторений	14,33	2	—	—	—	—	—
Фактор А	28,17	1	28,17	169,0	18,51	0,24	1,01
Остаток ошибки	0,33	2	0,17	—	—	—	—

Так, при содержании в серых лесных почвах обменного калия при одном уровне в пределах 12,6 и 15,3 мг/100 г в другом урожайности ячменя составила соответственно 1,3 и 1,7 т/га (при HCP₀₅ = 0,101 т/га). Не меньшее значение, чем калию, в повышении устойчивости культурных растений отводятся и азоту, в частности его гидролизуемой форме. Азот, как известно, участвует в ростовых и синтетических процессах, в том числе и тех, которые ответственны за формирование устойчивости. Большое содержание гумуса и азота в почве способствовало лучшему развитию ячменя в неблагоприятном 2010 г.

Данные многолетних исследований Л.В. Ильиной (1987) (весенние запасы воды в серых лесных почвах в годы с ГТК меньше и больше единицы, урожайность яровых зерновых культур в зависимости от технологического уровня окультуривания почвы) позволили установить, что высокое плодородие почвы способствует лучшему накоплению воды в почве к моменту посева ячменя. За счет этого повышается его урожайность по сравнению со среднеплодородным вариантом (табл. 5).

При разработке моделей плодородия для серых лесных почв Л.В. Ильина [1] вывела уравнение зависимости урожайности культурных растений от 10 показателей: весенние запасы влаги, содержание элементов питания и другие. Применение данного уравнения позволило рассчитать эмпирические значения урожайности при засухе и различных условиях обеспеченности элементами питания (продуктивной влаги 20 мм). Установлено, что при содержании нитратного азота 30 мг/кг, подвижного фосфора и обменного калия по 17 мг/100 г, что соответствует среднему уровню плодородия, возможна средняя продуктивность культурных растений (составляет около 4,0 т к.ед./га). При увеличении нитратов в 2 раза, доступных фосфора и калия до 20 мг/100 г следует ожидать прибавку урожайности на 1,0 т к.ед./га. Расчеты коэффициентов водопотребления растений свидетельствуют о зависимости использования влаги от уровня плодородия. В вариантах, где применялись технологии окультуривания серых лесных почв, рассчитанные на средний и высокий уровни плодородия, коэффициенты водопотребления всех культур

Таблица 5

Сравнительная характеристика запасов воды в серой лесной почве (0–50 см) и урожайности ячменя*

Уровень плодородия	Запас воды, мм		Урожайность, т/га		t ₀₅ /α для запасов воды	t ₀₅ /α для урожайности
	ГТК < 1	ГТК > 1	ГТК < 1	ГТК > 1		
Средний	95	109	4,4	5,1	3,9/0,02	8,0/0,009
Высокий	99	122	4,9	6,1	5,9/0,01	19,0/0,009
t ₀₅ /α для урожайности	1,7/0,10	3,0/0,05	11/0,001	15,0/0,01	—	—

Примечание. * рассчитано нами на основании исходных данных Л.В. Ильиной.

Как видно из табл. 5, урожайность ячменя при ГТК < 1 на высокоплодородной почве увеличивается на 0,5 т/га по сравнению со среднекультуренной; при ГТК > 1 прибавка повышается в 2 раза.

были ниже, чем на низкоплодородных почвах. По прошествии третьей ротации севооборота разница в значении коэффициента водопотребления у растений между вариантами составила 36–40%. На окультуренных

почвах вероятность повышения продуктивности культурных растений выше при одной и той же водообеспеченности растений, чем на некультурных. В стационарном опыте интенсивность использования каждой 100 мм воды на формирование фитомассы на средне- и высокоплодородных почвах была соответственно выше по картофелю на 24 и 65%, по ячменю – на 12 и 44%, по овсу – на 23 и 55%, по озимой пшенице – на 26 и 55%, чем на низкоплодородных почвах.

Наибольшая эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений на ячмене отмечалась за вегетационные периоды, которые по увлажнению были близкими к средней многолетней. Наибольший эффект за все годы исследований получен при использовании азотных удобрений. Однако в избыточно влажные годы (осадков 140% от средней многолетней) происходит вымывание азота из корнеобитаемого слоя, в связи с чем действие их несколько снижается, но остается относительно высоким – на 16–19% выше калийных и фосфорных удобрений. В сильно засушливые годы (осадков менее 60% от нормы) комплексная оптимизация питания зерновых культур обеспечивает прибавку зерна ячменя в 1,52 т/га. В засуху, как показали опыты, реальная продуктивность зерна ячменя – на уровне 4,2 т/га.

Динамика урожайности зерна зависит от ГТК. Статистическая обработка резуль-

татов позволила обнаружить корреляционную зависимость урожайности ячменя от гидротермических условий мая: коэффициент корреляции составил около 0,7, то есть на 49% продуктивность зерна обусловлена водообеспеченностью начального периода вегетации.

В засушливых условиях ($ГТК < 1$), несмотря на снижение использования калия из удобрения, калийная соль обеспечивает достоверную прибавку зерна в 0,38 т/га (t-критерий составил 4,5). Так, если на фоне NP урожайность составила в среднем 2,44 т/га, то за счет оптимизации питания калием – 2,82 т/га. Еще больше различия при сравнении с вариантом без удобрений – 0,99 т/га.

Внесение под зерновые культуры только азотных и фосфорных удобрений является менее эффективным вариантом, чем на их фоне использование калийной соли, так как, согласно уравнениям регрессии, при увеличении значения ГТК на 0,5 ед. (например, с 0,5 до 1,0) ожидаемая прибавка может быть соответственно 0,23 и 0,27 т/га. В засушливых условиях ($ГТК 0,5–0,8$) в вариантах без удобрений уровень продуктивности зерна не превышает 2,0 т/га ($Y = 17,3 + 4,0X$), в случае внесения азотных и фосфорных удобрений реально получать 2,6–2,7 т/га ($Y = 23,5 + 4,6X$); комплексной оптимизации питания – около 3,0 т/га ($Y = 26,4 + 5,4X$) (рис. 1).

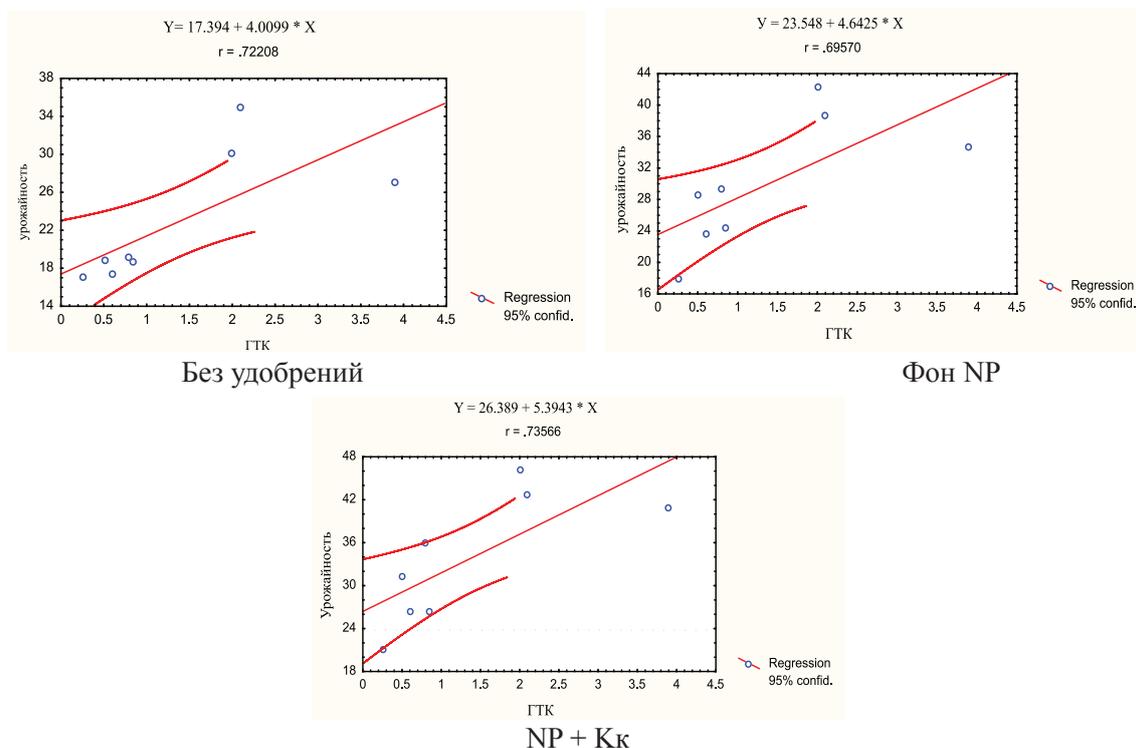


Рис. 1. Зависимость урожайности ячменя от ГТК

Таблица 6

Влияние форм калийных удобрений на продуктивность севооборота, т з. ед./га

Вариант	Ротация севооборота							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Без удобрений	2,42	2,35	2,76	2,08	2,18	3,14	2,56	1,55
Фон NP	3,55	3,41	3,85	2,96	3,07	3,89	3,41	2,35
Прибавка по сравнению с абсолютным контролем								
NP + K _к	0,23	0,29	0,34	0,60	0,62	0,48	0,58	0,70

Как показал сравнительный анализ, применение минеральных удобрений в опыте с калийными удобрениями, антропогенное регулирование, направленное на улучшение питания ячменя, служит действенным мероприятием в борьбе с засухой.

В опыте с калийными удобрениями продуктивность севооборота увеличивалась по мере ротаций (табл. 6).

Рассчитанное уравнение тренда имеет вид $Y = 2,0 + 0,06X$, то есть в среднем за ротацию урожайность выросла на 0,06 т з. ед./га, по яровым зерновым – 0,01 т/га ($Y = 3,2 + 0,01X$).

В многолетнем опыте с азотными удобрениями (опыт 2) была установлена аналогичная закономерность: прямолинейная и логарифмическая зависимость урожайности яровых зерновых культур от ГТК.

Статистическая обработка многолетних урожайных данных указывает на преимущество использования азотных удобрений (установлено на примере с аммиачной селитрой) под яровые зерновые культуры. Как показывают рис. 2 и 3, наибольшее значение границы урожайности отмечено в варианте с аммиачной селитрой – 3,59 т/га, в то время как на РК фоне – 2,52 т/га, и еще меньше – 2,23 т/га в контрольном варианте без применения минеральных удобрений. Минимальная для определенных вариантов опыта, но неодинаковая между ними урожайность яровых зерновых культур соответствуют низкому значению ГТК, увеличение которого приводит к росту урожайности.

Наибольшие расхождения в урожайности зерна обнаружены при сравнении вариантов без удобрений и РК фон + аммиачная селитра. Причем оно в 10 раз превысило значение при сравнении с первым вариантом РК фона без азотного удобрения.

Нами математически подтвержден тезис о роли минеральных удобрений в борьбе с засухой. Уравнения регрессии показали, что теоретически в острозасушливые годы при соблюдении технологической дисциплины в возделывании сельскохозяйствен-

ных культур, комплексной оптимизации питания возможно получение урожайности зерна (при указанных выше дозах) около 3,0 т/га, что в 1,5 раза больше, чем в варианте без применения удобрений.

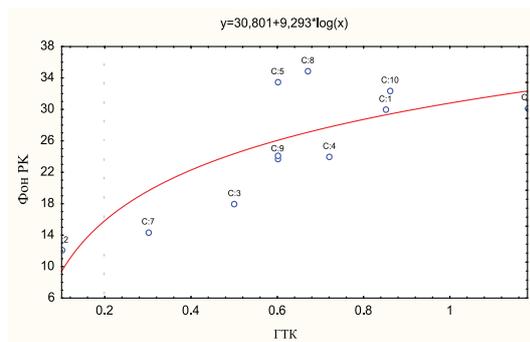
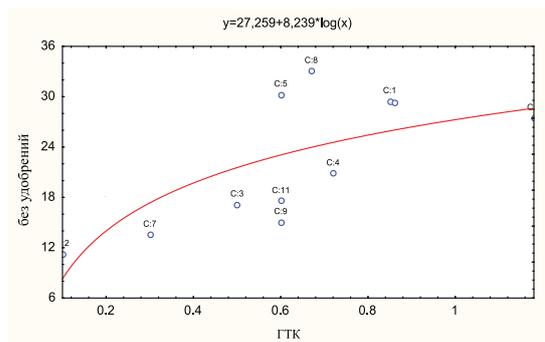
При улучшении водообеспеченности (ГТК 1,0-1,5) эффективность минеральных удобрений повышается. Так, за счет дополнительного внесения азота под ячмень урожайность может достигать до 4,84–6,63 т/га (на примере с аммиачной селитрой). Разница по сравнению с засушливым периодом составляет 1,92–2,76 т/га, в то время как на РК фоне – 1,58–2,34 т/га, еще меньше на абсолютном контроле – 0,9–1,9 т/га, то есть с улучшением водного режима почвы отзывчивость яровых зерновых на азот, выражающаяся в количественном увеличении элементов продуктивности, усиливается.

Решающим мероприятием по регулированию питания культурных растений, а значит, их устойчивости к почвенной засухе является применение удобрений. Данные табл. 7 в какой-то мере позволяют судить о технологическом уровне возделывания ячменя, в котором ведущее место занимают минеральные удобрения. Именно оптимизация питания способствует повышению физиологического гомеостаза. Это доказывается последующими расчетами. Для этого проанализированы в динамике урожайные данные яровых зерновых культур в некоторых районах Рязанской области и их отзывчивость на гидротермические условия вегетации на разных фонах обеспечения минеральными удобрениями (табл. 7).

Большое значение в борьбе с засухой принадлежит естественному плодородию почвы. В нашем случае серые лесные почвы считаются более плодородными, чем дерново-подзолистые. Для убедительности данного тезиса сравним среднюю урожайность зерна в Кадомском районе (рис. 4) и Сараевском. В последнем в умеренную засуху продуктивность зерна в хозяйствах была более высокой – 1,5 т/га (7-й уровень, рис. 4) при меньшем внесении минеральных удобрений.

Показатель	C	b
Оценка	27,25	8,23
Стандартная ошибка	2,44	2,79
t(9)	11,17	2,94
α	0	0,016

Показатель	C	b
Оценка	30,80	9,29
Стандартная ошибка	2,09	2,41
t(9)	14,68	3,86
α	0	0,003



Показатель	C	b
Оценка	44,62	14,50
Стандартная ошибка	3,38	3,88
t(9)	13,19	3,73
α	0	0,0046

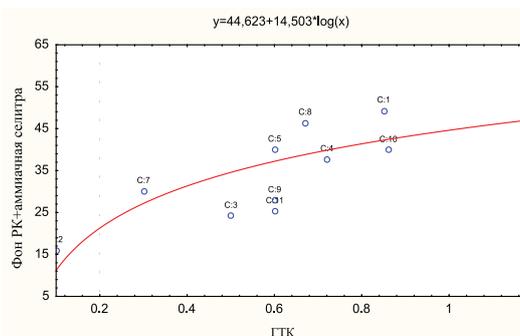


Рис. 2. Зависимость урожайности ячменя (ось Y) от гидротермических условий (ось X) в зависимости от использования удобрений

Таблица 7

Средняя доза удобрений и средняя урожайность зерна яровых культур в некоторых районах Рязанской области за 1975–1988 гг.

Район	Преобладающая почва	Доза минеральных удобрений, кг/га	Урожайность зерновых культур, т/га	V, %
Рязанский	серая лесная	157	1,87	3,31
Рыбновский	серая лесная	114	1,52	1,98
Касимовский	дерново-подзолистая	148	1,07	2,07
Кадомский	дерново-подзолистая	93	0,90	2,60
Сараевский	чернозем выщелоченный	68	1,44	3,08

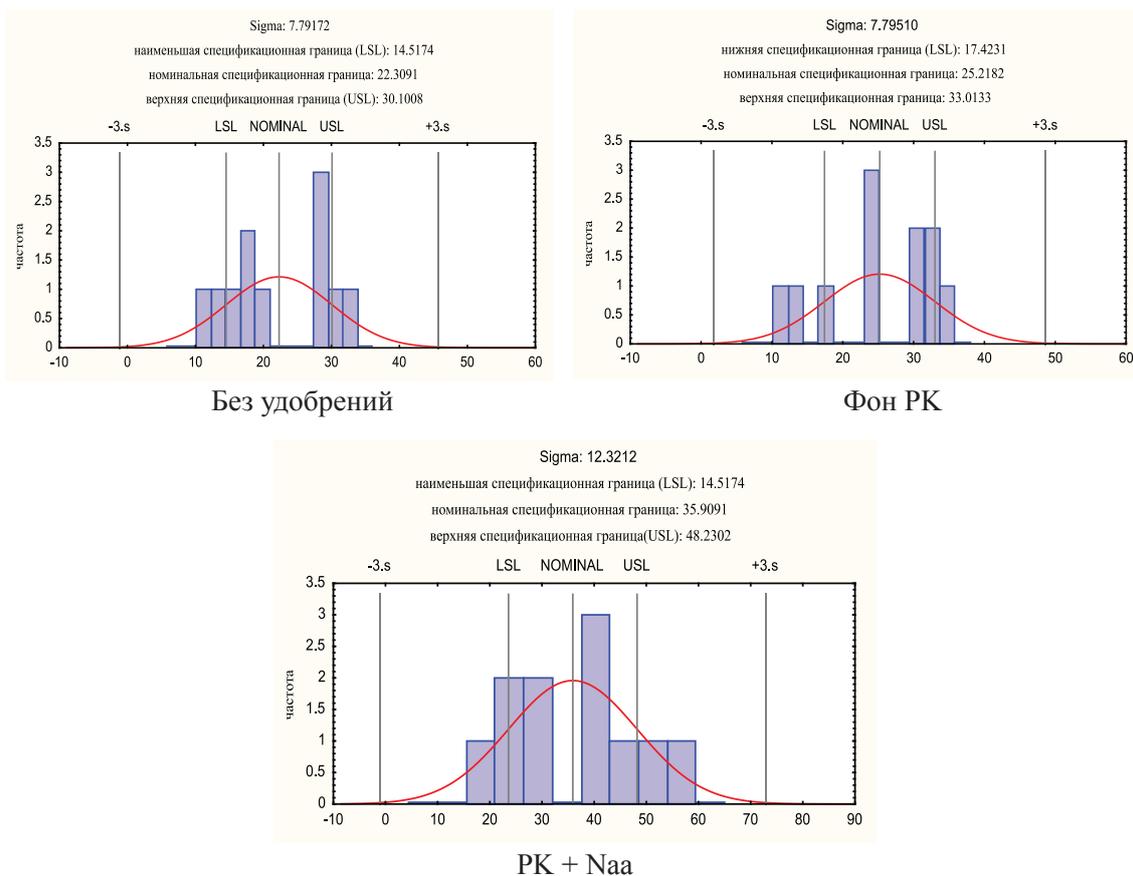


Рис. 3. Урожайность ячменя и частота ее встречаемости в зависимости от вариантов опыта

В Сараевском районе при ГТК от 0 до 0,2 получение урожайности зерна – 0,8 т/га – возможно было при дозе минеральных удобрений от 30 до 50 кг/га. В Кадомском – при большем применении NPK.

При сравнении максимальной урожайности зерна в близких по почвенно-климатическим условиям Касимовском (9-й уровень, рис. 4) и Кадомском (8-й уровень, рис. 4) районах разница за счет неодинаковой обеспеченности минеральными удобрениями (табл. 7) составила около 0,2 т/га.

Нами предприняты попытки установления степени зависимости урожайности ячменя от удобрений с учетом майских и июньских осадков (на примере Рязанского района) при 4 условиях их комбинаций. Согласно уравнениям, если осадков в указанные месяцы выпадает менее 55 мм, применение минеральных удобрений в дозе 150 кг/га обеспечивает теоретически возможную урожайность 1,6 т/га. Если июньские осадки превысят 55 мм, вероятная урожайность 1,9 т/га. Если и майских, и июньских осадков будет больше 55 мм, урожайность составит 2,2 т/га.

Известно влияние удобрений в минимизации негативного проявления засушливых условий (рис. 5). Если количество майских и июньских осадков выпадает меньше 55 мм, получение урожайности зерна в 2,0 т/га возможно при дозе минеральных удобрений 160 кг/га (1 уравнение). Если осадки превышают 55 мм, отмеченный уровень урожайности возможен при более низких дозах: в нашем случае она составила 27 кг/га (4 уравнение).

Далее нами выявлена зависимость урожайности ячменя в некоторых районах Рязанской области от доз минеральных удобрений, лежащих в интервале 0–30, 30–50 и > 50 кг/га и величиной майских осадков < 10, 10–50 и > 50 мм. Несмотря на условность выбранных исходных условий для статистической обработки, можно выявить направленность изменения урожайности при изменении основных факторов, ее определяющих. Однако не все комбинации доз удобрений и значений осадков дали достоверные результаты (отсутствуют уравнения).

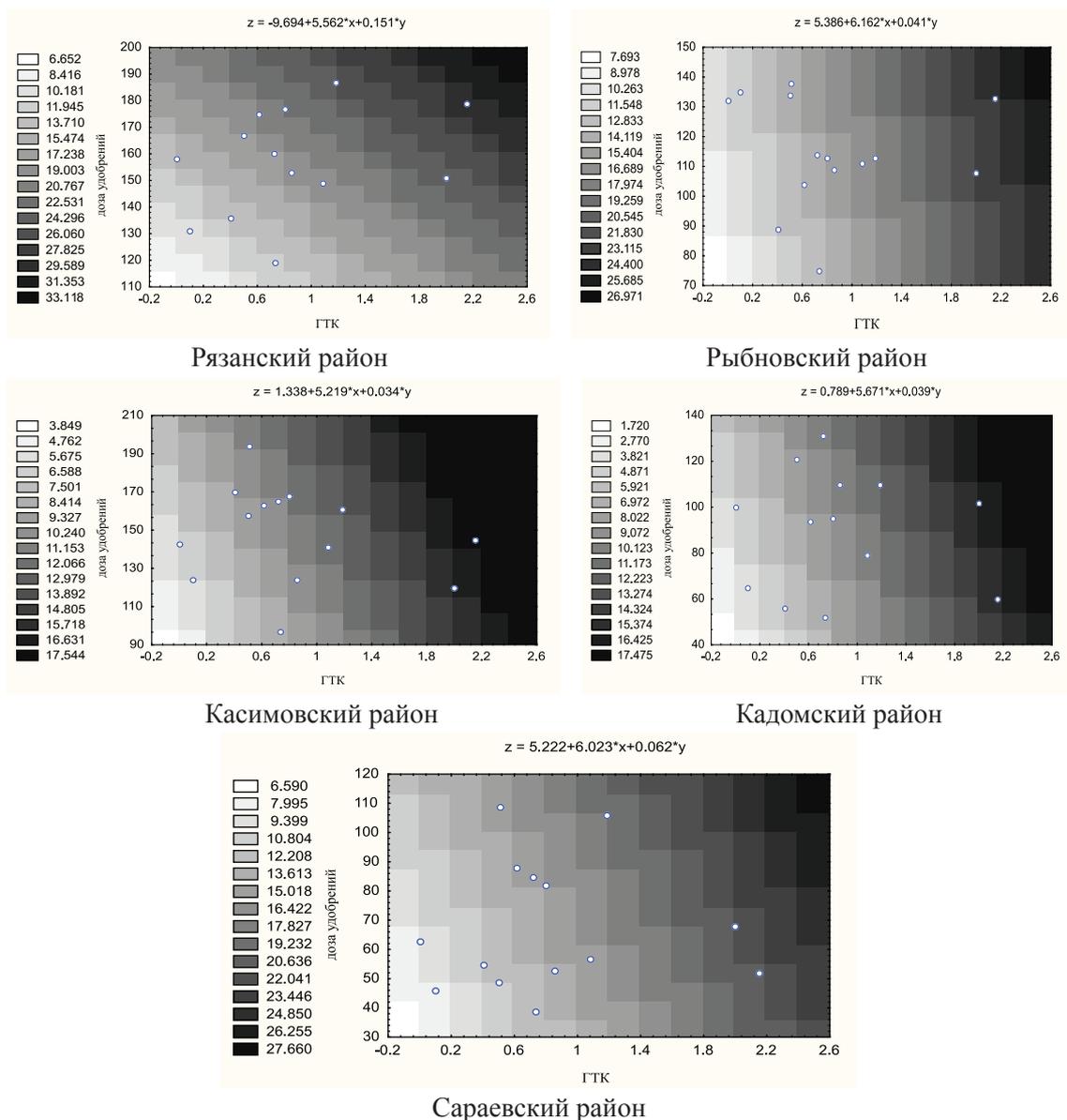


Рис. 4. Зависимость урожайности ячменя от ГТК и удобрений в некоторых районах области

Осадки июня: ≤ 55 , Осадки мая: ≤ 55 $y = -44,4 + 0,4 \cdot x$
 Осадки июня: > 55 , Осадки мая: ≤ 55 $y = 22,3 - 0,011 \cdot x$
 Осадки июня: ≤ 55 , Осадки мая: > 55 $y = 8,6 + 0,07 \cdot x$
 Осадки июня: > 55 , Осадки мая: > 55 $y = 19,6 + 0,015 \cdot x$

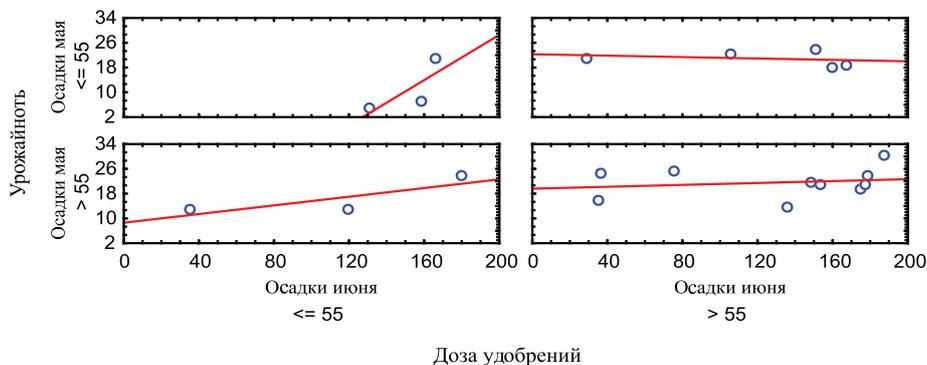


Рис. 5. Вероятностные уравнения отклика урожайности ячменя на удобрения и осадки мая и июня

Однако из тех сочетаний факторов, которые оказались достоверными, обнаружено снижение урожайности при уменьшении дозы применяемых удобрений. Например, в Рязанском районе при дозе удобрений 100 кг/га и величине осадков, лежащей в интервале от 10 до 50 мм по модели, наиболее вероятная урожайность зерна 0,7–0,9 т/га.

При снижении дозы, соответствующей интервалу от 30 до 50 кг/га, увеличение осадков не компенсирует действие удобрений, так как урожайность снижается в два раза. Из уравнений (на примере данных по Сараевскому району) видно, что с увеличением дозы минеральных удобрений на фоне выпадения атмосферных осадков, превышающих 50 мм, повышается значение коэффициента в уравнении: при дозе < 30 кг/га он составил 0,0151 т/га, при дозах в интервале значений от 30 до 50 кг/га – 0,0186 т/га и от 50 до 100 кг/га – 0,0287 т/га. Максимальное значение коэффициента во всех проанализированных районах установлено для варианта комбинации, при которой доза удобрений превышает 100 кг/га, а майские осадки – среднемноголетнее значение 50 мм.

Выводы

Математически был подтвержден тезис о роли минеральных удобрений в борьбе с засухой. Так, при проведении полевого опыта в 2010–2015 гг. при сравнении максимальной урожайности зерна в близких по почвенно-климатическим условиям районам Рязанской области разница за счет неодинаковой обеспеченности минеральными удобрениями с учетом майских и июньских осадков составила около 0,2 т/га. Минеральные удобрения минимизируют негативное проявление засушливых условий.

Список литературы

1. Ильина Л.В. Комплексное воспроизводство плодородия серых лесных почв и его эффективность. – Рязань: Узоречье, 1997. – 231 с.
2. Мусаев Ф.А. Анализ экологического состояния окружающей среды региона / Ф.А. Мусаев, Захарова О.А. // Материалы XII международной научно-практической конференции: Россия и Европа: Связь культуры и экономики. – Прага, Чешская республика: Издательство: World Press, 2015. – С. 458–460.
3. Тихонова Т.А. Практическое руководство по освоению интенсивной технологии возделывания ярового ячменя. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 5–50.
4. Третьяков Н.Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. – М.: Колос, 2005. – 640 с.
5. Черников, В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие / В.А. Черников, Н.З. Милащенко, О.А. Соколов // Устойчивость почв к антропогенному воздействию. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2001. – Кн. 3. – 203 с.