8. Patova O. A., Golovchenko V. V., Ovodov YU. S. Pektinovyе polisaharidy: struktura, svojstva // Izvestiya Akademii nauk. Seriya himicheskaya. – 2014. – № 9. – S. 1901-1925.
9. Shahmatov E. G., Mihajlova E. A., Makarova E. N. Strukturno-himicheskaya harakteristika i biologicheskaya aktivnost' polisaharidov Heracleum Sosnowskyi Manden // Himiya rastitel'nogo syr'ya. – 2015. – № 4. – S. 15-22.
10. Rukovodstvo po analizam kormov. M.: Kolos. – 1982. – 75 s.
11. Metodicheskoe posobie po opredeleniyu energozatrat pri proizvodstve prodovol'stvennyh resursov i kor-mov dlya uslovij Severo-Vostoka evropejskoj chasti Rossijskoj Federacii. – Kirov. – 1997. – 62 s.
12. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). M.: Kolos. – 1979. – 416 s.

Поступление/Received: 09.05.2020

Принято/Accepted: 30.05.2020

УДК 633:631.8.022.3:632.93

DOI: 10.37574/2658-7963-2020-1-28-32

О значимости агрометеорологических и техногенных факторов при возделывании культур полевого севооборота на северо-западе России

Фесенко М. А., Шпанёв А. М., Смук В. В.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
"Агрофизический научно-исследовательский институт"*

В агроэкологическом стационаре Меньковского филиала ФГБНУ АФИ (Ленинградская обл., Гатчинский район) в 2012–2016 гг. проведены исследования по оценке влияния средств защиты растений и минерального удобрения в различающихся условиях вегетации на культуры полевого севооборота в Северо-Западном регионе с целью выявления взаимосвязей, взаимовлияния и действия каждого из факторов на урожайность. Представлены данные о вкладе в формирование урожайности ярового ячменя, озимой ржи, картофеля и ярового рапса гидро-термических условий вегетации и факторов интенсификации земледелия – минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений. Гидротермические условия вегетации определяли 60% урожайности у картофеля, 59% – у озимой ржи и 34% – у ярового ячменя. Приоритетность техногенных факторов, определяющих урожайность, различна для культур полевого севооборота. Определяющим зерновую продуктивность озимой ржи (на 21% в среднем за годы изучения) и ярового ячменя (на 33%) показателем является уровень агрофона. Урожайность картофеля в равной степени (на 9-10% в среднем за годы изучения) может определяться или уровнем минерального питания, или эффективностью системы защиты растений. Эффект от фитосанитарных мероприятий возрастал с увеличением уровня минерального питания (с 60% до 73%). Урожайность рапса менее всего зависит непосредственно от погодных условий (на 9%) и определяется совокупным действием интегрированной системы защиты растений (24%) и удобрений (15%) в конкретных условиях вегетации (вклад взаимодействия трех факторов – 28%).

Ключевые слова: урожайность, минеральные удобрения, средства защиты растений, картофель, озимая рожь, яровой ячмень, яровой рапс

Продуктивность сельскохозяйственных культур – результат их существования в конкретных почвенно-климатических условиях. Она определяется совокупным действием лимитирующих (погода), детерминированных (почва) и антропогенных (средства агротехнологий), факторов. Посевы полевых культур утратили к настоящему времени в значительной степени устойчивость к негативному воздействию природных и техногенных стрессоров и поэтому нуждаются в постоянном управляющем воздействии со стороны человека [1]. В основе современных систем управления продуктивностью лежит применение удобрений и средств защиты растений.

Дерново-подзолистые почвы Северо-Запада характеризуются низким содержанием основных элементов питания и повышенной кислотностью, поэтому использование минеральных удобрений, в первую

очередь азотных, имеет решающее значение в формировании урожая [2]. Ввиду значительного удорожания минеральных удобрений трендом последних двух десятилетий в регионе является предпочтительное применение моноазотной минеральной системы удобрения, направленное на устранение дефицита самого лимитирующего продуктивность элемента [3].

Известно, что использование минеральных удобрений, в первую очередь азотных, приводит к увеличению вегетативной массы и полеганию растений. Перевод зерновых культур на короткостебельную основу избавил посевы от полегания, но обострил проблему борьбы с сорными растениями и приблизил колос к источникам почвенной и напочвенной инфекции [4]. Удовлетворение потребности растений в повышенных дозах нитратов, способствовало удлинению периода вегетации растений, в том числе и перио-

да восприимчивости к возбудителям колоса и болезней листьев.

Материал и методы

Исследования проводились в агроэкологическом стационаре Меньковского филиала Агрофизического НИИ (Ленинградская область, Гатчинский район). Стационар представляет собой зерно-травяно-

пропашной севопольный севооборот, развернутый в пространстве и во времени. Год освоения севооборота – 1984 г.

В данной работе приводятся результаты изучения в 2012–2016 гг., когда большинство сортов, использованные в опыте были представлены сортами селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка» (таблица 1).

Таблица 1 – Культуры и сорта в Агроэкологическом стационаре

Культура	Сорт	Происхождение
сидеральный пар – люпин узколистый	Орловский сидерат	Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур
рожь озимая	Славия	Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»
ячмень + мн. травы (подсев)	Ленинградский	Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»
мн. травы 1 г.п.	Клевер лут. Орфей / тимopheевка лут. Ленинградская 204	Федеральный Аграрный Научный Центр Северо-Востока Имени Н.В. Рудницкого / Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»
мн. травы 2 г.п.		
картофель	Сударыня	Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»
рапс яровой	Оредеж 4	Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»

Почва опытных полей дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая. Мощность пахотного слоя 23 см, pH_{KCl} – 4,6, содержание гумуса (по Тюрину) – 1,9%, подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову) – 257 и 92 мг/кг соответственно.

В стационаре созданы и поддерживаются длительным ежегодным предпосевным внесением азотоса и аммиачной селитры из расчета планируемой урожайности три уровня почвенного плодородия (МУ): 1 – низкой – без удобрений, 2 – средней урожайности – $N_{65}P_{50}K_{50}$, 3 – высокой урожайности – $N_{100}P_{75}K_{75}$.

Вторым изучаемым фактором в опыте являлась интегрированная система защиты растений (СЗР). Прямое действие фактора введено в схему опыта на озимой ржи, ячмене, яровом рапсе и картофеле. На последующих культурах севооборота фиксируется наличие последствий.

Длительное применение минеральных удобрений снижало засоренность как малолетними, так и многолетними видами сорных растений, но увеличивало массу каждого из них [5].

Вместе с тем, погодные условия оказываются благоприятными для развития болезней зерновых культур, которые в отдельные годы приобретают статус эпифитотийных [6, 7].

На посадках картофеля в Северо-Западном регионе из всех групп вредных организмов наибольшее экономическое значение имеют фитопатогены [8].

Для ярового рапса постоянную угрозу представляют крестоцветные блошки, капустная моль и рапсовый цветоед [9].

Вышеназванное делает обоснованным проведение исследований, нацеленных на выявление изменений фитосанитарной ситуации в полевом севообороте, происходящих под действием вносимых удобрений.

Система защиты растений состояла из обязательного протравливания семян. Фунгицидами, гербицидами и инсектицидами посевы обрабатывали при превышении экономического порога вредоносности. Таким образом, на каждой культуре было создано по 6 вариантов, сочетающих различные комбинации уровня почвенного плодородия и систем защиты растений.

Размещение вариантов систематическое, по методу расщепленных делянок.

Цель исследования – провести анализ влияния средств защиты растений и минерального удобрения в различающихся условиях вегетации на культуры полевых севооборотов в Северо-Западном регионе с целью выявления взаимосвязей, взаимовлияния и действия каждого из факторов на урожайность.

Результаты и их обсуждение

Для региона характерно непостоянство метеословий, как по годам, так и в течение вегетационного периода, что оказывает значительное влияние на продуктивность культур севооборота, как непосредственно, так и опосредованно, через развитие вредных организмов. Однако средние за вегетационный период климатические характеристики далеко не всегда имели определяющее значение в результативности продукционного процесса полевых культур (таблица 2). Различия между годами по дате устойчивого перехода темпе-

ратуры через 10С⁰ достигали 16 дней, изменяя почти синхронно сроки возобновления

весенней вегетации озимых, а также сроки сева яровых культур и посадки картофеля.

Таблица 2 – Гидротермические условия вегетации и размах изменчивости урожайности культур полевого севооборота

Год	Гидротермические условия вегетации			Урожайность, т/га средняя/размах изменчивости			
	$\sum t > 10С^0$ за период вегетации	сумма осадков, мм	ГТК	озимая рожь	яровой ячмень	яровой рапс	картофель
2012	1520	340	2,2	-	2,52/1,13÷4,06	1,08/0,75÷1,55	21,34/11,60÷29,90
2013	1778	391	2,2	4,25/3,24÷5,02	1,41/0,62÷2,35	0,80/0,20÷1,48	9,88/4,67÷14,83
2014	1671	213	1,3	3,70/2,23÷4,79	2,57/1,15÷4,06	1,06/0,71÷1,60	29,92/23,37÷42,80
2015	1419	166	1,2	5,40/4,75÷6,01	3,02/2,49÷3,32	1,05/0,90÷1,14	42,14/30,53÷53,10
2016	1579	298	1,9	2,61/1,91÷3,58	1,81/1,05÷2,33	-	34,85/17,97÷50,23

Наименьшая урожайность всех культур во все годы изучения получена на вариантах без применения удобрений и системы защиты растений, и, вследствие этого, является показателем отклика культуры исключительно на метеословия конкретного вегетационного периода. Анализ данных показал, что коэффициент вариации урожайности по годам таких «нулевых» вариантов независимо от культуры (озимая рожь, яровые ячмень и рапс, картофель) находился в пределах 42-44%. Использование техногенных средств (удобрения и средства защиты растений) существенно выравнивало продуктивность зерновых культур и рапса (коэффициент вариации 22-23%), и в несколько меньшей степени картофеля (коэффициент вариации – 34%).

Урожайность зерновых культур в отдельный вегетационный период определялась в первую очередь уровнем минерального питания. У ярового ячменя система защиты растений в меньшей степени, но в большинстве лет достоверно влияла на величину зерновой продуктивности. Урожайность рапса в большинстве лет изучения, напротив, зависела от эффективности контроля фитосанитарной обстановки. При этом

близкая, как по средним значениям, так и по амплитуде, урожайность в 2012 году была получена за счет применения системы защиты, а в 2014 – удобрений и средств защиты растений. Урожайность картофеля могла определяться и уровнем минерального питания, и эффективностью системы защиты растений, и односторонним действием обоих факторов. Синергического воздействия обоих факторов на урожайность не отмечалось на большинстве культур, за исключением озимой ржи (таблица 3).

Длительное применение минеральных удобрений приводило к снижению засоренности ячменя, однако компенсировалось лучшим развитием и семенной продуктивностью оставшихся сорных растений. Ухудшению фитосанитарного состояния посева этой культуры способствовало значительное распространение и развитие болезней. Вследствие сказанного, эффективность фитосанитарных мероприятий на ячмене была значительно выше – прибавка урожайности в среднем за годы изучения составила 43% (N₀P₀K₀), 54% (N₆₅P₃₀K₅₀) и 39% (N₁₀₀P₇₅K₇₅). Однако во все годы уступала прибавке от действия минеральных удобрений.

Таблица 3 – Вклад техногенных факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота по годам, %

Культура	Фактор/Год	2012	2013	2014	2015	2016
Яровой ячмень	СЗР	7,9*	16,8*	37,3*	3,2	21,3*
	МУ	90,9*	49,3*	49,3*	53,4*	73,1*
	Взаимодействие СЗР-МУ	0,4	2,9	4,3	1,4	2,0
	Повторений	0,0	2,6	0,5	29,2	0,0
	Случайное	0,8	28,4	8,6	12,8	3,5
Озимая рожь	СЗР	-	2,0	2,2*	5,4	3,8
	МУ	-	68,4*	89,4*	13,7	56,2*
	Взаимодействие СЗР-МУ	-	1,8	3,4*	3,7	17,2*
	Повторений	-	5,7	2,4	37,3	6,3
	Случайное	-	22,1	2,6	40,0	16,5
Яровой рапс	СЗР	39,8*	62,6*	21,6*	1,0	-
	МУ	18,5	9,8	51,7*	31,1	-
	Взаимодействие СЗР-МУ	11,6	2,4	9,9	3,8	-
	Повторений	7,2	0,9	2,5	25,9	-
	Случайное	22,8	24,3	14,3	38,2	-
Картофель	СЗР	31,3*	76,1*	9,9	0,0	77,5*
	МУ	63,4*	0,1	48,4*	62,1*	11,1*
	Взаимодействие СЗР-МУ	1,3	0,8	12,7	0,6	0,8
	Повторений	0,0	8,1	0,3	8,7	4,4
	Случайное	4,0	14,8	28,8	28,5	6,1

Примечание: * – различия существенны при $p \leq 0,05$

Продуктивность рапса в большинстве случаев зависела от эффективности контроля фитосанитарной обстановки. При этом близкая как по средним значениям, так и по амплитуде урожайность в 2012 году была получена за счет применения системы защиты, а в 2014 – удобрений и СЗР. Применение средств защиты растений увеличивало урожайность культуры в 1,7 и 2,0 раза на неудобренном и удобренных вариантах, соответственно. Минеральные удобрения повышали данный показатель на 33% ($N_{65}P_{50}K_{50}$) и 44% ($N_{100}P_{75}K_{75}$).

Продуктивность картофеля могла определяться и уровнем минерального питания, и

эффективностью системы защиты растений, и однонаправленным действием обоих факторов.

Фитосанитарные мероприятия увеличивали урожайность клубней на 60% ($N_0P_0K_0$), 66% ($N_{65}P_{50}K_{50}$) и 73% ($N_{100}P_{75}K_{75}$). Эффект от увеличения уровня минерального питания выразился в повышении продуктивности на 30% ($N_{65}P_{50}K_{50}$) и 58% ($N_{100}P_{75}K_{75}$).

Определение вклада агроклиматических факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота показало доминирование условий года над системой удобрения и защитой растений для всех культур, исключая яровой рапс (таблица 4).

Таблица 4 – Вклад техногенных и агрометеорологических факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота, %

Фактор	Культура			
	озимая рожь	яровой ячмень	яровой рапс	картофель
Погодные условия вегетации (ПУВ)	59,1*	34,4*	8,7*	60,1*
СЗР	0,2	10,0*	24,3*	9,0*
МУ	21,3*	32,8*	14,9*	10,2*
Взаимодействие ПУВ-СЗР	1,1	4,0*	17,7*	6,7*
Взаимодействие ПУВ-МУ	4,0*	10,4*	7,2*	4,3*
Взаимодействие СЗР-МУ	1,5*	0,6	2,2	0,4
Взаимодействие ПУВ-СЗР-МУ	0,6	1,0	3,1	0,6
Повторений	3,3	0,4	1,1	0,5
Случайное	8,8	6,4	20,6	8,1

Примечание: * – различия существенны при $p \leq 0,05$

Интегрированная система защиты растений, примененная на рапсе, в значительной степени нивелировала зависимость урожайности от условий вегетации (вклад взаимодействия – 17,7%).

Выводы. Урожайность большинства культур полевого севооборота (исключая яровой рапс) по годам в Северо-Западном регионе в значительной степени (от 34% – на ячмене, до 60% – на картофеле) определяется гидротермическими условиями вегетации, которые действуют как непосредственно, так и через развитие вредных организмов.

Урожайность зерновых культур в конкретный вегетационный период определялась в первую очередь уровнем минерального питания. В отдельные годы минеральные удобрения обуславливали 89% величины урожайности озимой ржи и 90% – ярового ячменя.

Урожайность рапса зависела от эффективности контроля фитосанитарной обстановки. Интегрированная система защи-

ты растений, примененная на рапсе, не только определяла величину урожайности (до 63%) в большинство из лет изучения, но и в значительной степени нивелировала зависимость урожайности от условий вегетации (вклад взаимодействия около 18%).

Урожайность картофеля в конкретный год могла определяться или уровнем минерального питания (до 64%), или эффективностью системы защиты растений (до 78%). Эффект от фитосанитарных мероприятий возрастал с увеличением уровня минерального питания (с 60% ($N_0P_0K_0$) до 73% ($N_{100}P_{75}K_{75}$)).

Увеличение вклада факторов взаимодействия «условия года-средства технологии» в вариантах со средствами интенсификации свидетельствует о более высокой адаптивности последних и перспективности разработки новых эффективных, регулируемых высокоточными технологиями земледелия блоков химизации.

Список литературы

1. Ермаков Е. И. Регулируемая агроэкосистема в агрофизике и растениеводстве // Ермаков Е.И. Избранные труды. – Санкт-Петербург. – 2009. – С. 12-28.
2. Заваалин А. А., Пасынков А. В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: Издательство ВНИИА, 2007. 208 с.
3. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Воробьев В. А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 2016, № 4. – С. 10-17.
4. Иващенко В. Г., Павлюшин В. А. Интенсификация растениеводства и эколого-продукционный баланс агроэкосистем: снижение плодородия почв и фитосанитарная дестабилизация // Вестник защиты растений. – 2017, № 3 (93). – С. 5-16.
5. Рогожникова Е. С., Шпанев А. М. Засоренность ячменя с подсевом многолетних трав при разных уровнях минерального питания // Вестник защиты растений. – 2014, № 4. – С. 49-51.

6. Рогожникова Е. С., Шпанёв А. М., Фесенко М. А. Влияние удобрений на поражение ярового ячменя болезнями в IV агроклиматической зоне Ленинградской области // Вестник защиты растений. – 2016, № 4. – С. 56-61.
7. Шпанёв А. М. Фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на агроэкологическом стационаре Менковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института // Вестник защиты растений. – 2018, № 3. – С. 67-72.
8. Шпанёв А. М., Смук В. В. Поражение картофеля болезнями в Северо-Западном регионе // Современная микология в России Материалы III Международного микологического форума. – 2015. – С. 129-130.
9. Шпанёв А. М., Голубев С. В., Смук В. В. Вредители ярового рапса в Северо-Западном регионе // XV Съезд Русского энтомологического общества. – Материалы съезда. – 2017. – С. 550-551.

Сведения об авторах:

Фесенко Мария Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник,

Шпанёв Александр Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник,

Смук Василий Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

ФГБНУ АФИ, 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14

e-mail: fesenko@agrophys.ru

About the importance of agro-meteorological and anthropogenic factors in the cultivation of cultures of field crop rotation in north-west Russia

M. A. Fesenko, A. M. Shpanev, V. V. Smuk

Agrophysical Research Institute

In 2012-2016 in the agroecological stationary of the Menkovsky branch of Agrophysical Research Institute (Russia, North-West region) were conducted studies to assess the impact of plant protection products, mineral fertilizers and weather on the yield of spring barley, winter rye, potatoes and spring rapeseed. The goal is to identify the relationships, mutual influence and actions of each of the factors on productivity. Vegetation conditions determined 60% of potato yield, 59% of winter rye and 34% of spring barley. The priority of technogenic factors that determine productivity is different. The main indicator of grain productivity of winter rye (by 21% on average over the years of study) and spring barley (by 33%) is fertilizer. The yield of potatoes equally (by 9-10% on average over the years of study) can be determined either by mineral nutrition, or by the plant protection system. The effect of phytosanitary measures increases with the increase in mineral nutrition (from 60% to 73%). Rapeseed yields are less directly dependent on weather conditions (by 9%). The yield of rapeseed is determined by the sum of the action of the plant protection system (24%), fertilizers (15%) and weather (the contribution of the interaction of three factors – 28%).

Key words: *productivity, mineral fertilizers, plant protection products, potatoes, winter rye, spring barley, spring rapeseed*

References

1. Ermakov E. I. Reguliruemaya agroekosistema v agrofizike i rastenievodstve // Ermakov E.I. Izbrannye trudy. – Sankt-Peterburg. – 2009. – С. 12-28.
2. Zavalin A. A., Pasyukov A. V. Azotnoe pitanie i prognoz kachestva zemnykh kultur. M.: Izdatel'stvo VNIIA, 2007. 208 s.
3. Ivanov A. I., Ivanova ZH. A., Vorob'yov V. A., Cyganova N.A. Agroekologicheskie posledstviya dlitel'nogo primeneniya deficit-nykh sistem udobreniya na horosho okul'turenykh dernovo-podzolistykh pochvah // Agrohimiya. – 2016, № 4. – С. 10-17.
4. Ivashchenko V. G., Pavlyushin V. A. Intensifikatsiya rastenievodstva i ekologo-produktsionnyy balans agroekosistem: snizhenie plodorodiya pochv i fitosanitarnaya destabilizatsiya // Vestnik zashchity rastenij. – 2017, № 3 (93). – С. 5-16.
5. Rogozhnikova E. S., SHpanev A. M., Fesenko M. A. Vliyaniye udobrenij na porazheniye yarovogo yachmenya boleznyami v IV agroeklimaticheskoy zone Leningradskoy oblasti // Vestnik zashchity rastenij. – 2016, № 4. – С. 56-61.
6. SHpanev A. M. Fitosanitarnoye sostoyaniye posevov ozimoy rzhii na agroekologicheskom stacionare Men'kovskogo filiala Agrofizicheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta // Vestnik zashchity rastenij. – 2018, № 3. – С. 67-72.
7. SHpanev A. M., Smuk V. V. Porazheniye kartofelya boleznyami v Severo-Zapadnom regione // Sovremennaya mikologiya v Rossii Materialy III Mezhdunarodnogo mikologicheskogo foruma. – 2015. – С. 129-130.
8. SHpanev A. M., Golubev S. V., Smuk V. V. Vrediteli yarovogo rapsa v Severo-Zapadnom regione // XV S'ezd Russkogo entomologicheskogo obshchestva. – Materialy s'ezda. – 2017. – С. 550-551.

Поступление/Received: 12.05.2020

Принято/Accepted: 31.05.2020

УДК 631.51

DOI: 10.37574/2658-7963-2020-1-32-37

Обработка почвы и ее влияние на содержание основных элементов питания

Кузина Е. В.

Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН

В статье представлены результаты научно-исследовательской работы по изучению влияния способов основной обработки почвы и удобрений на динамику поступления доступных форм NPK в 0-30 см слое почвы при сплошном и локальном размещении пожнивных остатков. Установлено, что на естественном фоне лучшей нитрификационной способностью обладала гребнекульсная обработка почвы с почвоуглублением, при которой средневзвешенная величина содержания нитратного азота