



УДК 631.4:631.5:631.95(73)

**Е.Г. Пивоварова,
С. Снеп,
А.Н. Кравченко**

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

Ключевые слова: сезонная динамика, минеральный азот, удобрения, севооборот, покровная культура, экологическая норма.

Введение

Пространственная неоднородность почвенных условий часто затрудняет адекватную оценку обеспеченности почв питательными веществами, необходимыми для роста и развития растений. В настоящее время установлены закономерности их аккумуляции в почвах, на различных элементах рельефа и при различных технологиях возделывания с.-х. культур [1-3]. Эти закономерности используются в геоинформационных системах, которые позволяют прогнозировать содержание подвижных питательных веществ (СППВ) с определенной точностью. Однако низкая точность прогноза связана со значительной сезонной динамикой содержания подвижных питательных веществ [4]. Тем не менее даже в таких динамичных системах, как СППВ в почве, можно говорить об устойчивости, стабильности. В классической физике для описания устойчивости динамических систем используют такое понятие, как аттрактор [5]. Поведение почвенной системы СППВ наиболее близко к поведению странных аттракторов. Их устойчивость обеспечивается избыточной энергией, протекающей через почвенную систему, часть которой расходуется на поддержание динамического равновесия.

В естественных почвах относительное постоянство факторов почвообразования, связанное с зональными особенностями гидротермических условий, поддерживает эту динамику в равновесном состоянии в течение длительного периода. Однако если количество этой энергии избыточно или недостаточно (удобрения, обработка, сорт и т.д.), то динамическое равновесие нарушается, и система либо уничтожается, либо переходит в иное состояние (в той или иной степени равновесное), но уже с иными параметрами, например, с более низкой продуктивностью.

Сегодня интенсивное воздействие на почвы делает антропогенный фактор почвообразования ведущим и может нарушать динамическое равновесие почвенных процессов. Это ведет к изменению устойчивости почвенных систем и может иметь серьезные экологические последствия. В связи с этим возникает необходимость оценки и мониторинга их экологического состояния и разработки критериев нормирования антропогенной нагрузки на почвы. Целью данной работы являлось изучение сезонной динамики минеральных форм азота в почве, обоснование их устойчивого диапазона и оценка влияния различных систем земледелия с точки зрения их экологической нормы, риска и кризиса.

Методика исследований

В работе использованы материалы многолетнего опыта Kellogg Biological

Station (KBS), которая расположена в 50 км к востоку от озера Мичиган (42° 24' N, 85° 24' W, высота над уровнем моря 288 м). Холмистые склоны преимущественно хорошо дренированы, климат гумидный. Почвы опытного участка на 90% представлены Typic Hapludalfs (по американской классификации, что соответствует в российской классификации типу серых лесных почв). Почвы сформировались на гляциальных осадках пересортированной морены. В целом гранулометрический состав почв суглинистый, гравелистый. Содержание песка в гумусовом горизонте – от 43 до 59 %, суммарное количество пылеватых фракций – от 27 до 38%, ила – 14-19%. Содержание общего углерода в гумусовом горизонте составляет 0,97-1,29%, валового азота – 0,104-0,131%. Почвы кислые, pH = 5,5-5,7, емкость катионного обмена – 8,4-7,1 мг-экв/кг почвы [6].

Опыт по изучению влияния различных систем земледелия на урожай и питательный режим сельскохозяйственных растений заложен в 1988 г. по схеме: 1) обычная технология (conventional) – основная чизельная обработка, весенняя предпосевная культивация, использование рекомендованной дозы синтетических удобрений, рассчитанной на вынос планируемой урожайностью, борьба с сорняками с помощью гербицидов; 2) переходная технология (IF) – от обычной технологии отличается тем, что в течение последних 2 лет основное внесение минеральных удобрений не производилось, вместо азотных удобрений была введена покровная культура (озимая рожь после кукурузы и клевер вместо чистого пара); 3) компостная система (IC) – ежегодное внесение 2 т/га компоста с соответствующим уменьшением дозы азотных удобрений, использование гербицидов для борьбы с сорняками; 4) органическая технология (organic) – отличительная особенность – введение люцерны в посев пшеницы с целью улучшения плодородия и питательного режима почв, фосфорные и калийные удобрения не вносились, поскольку результаты почвенного обследования свидетельствовали о достаточной обеспеченности почв этими элементами.

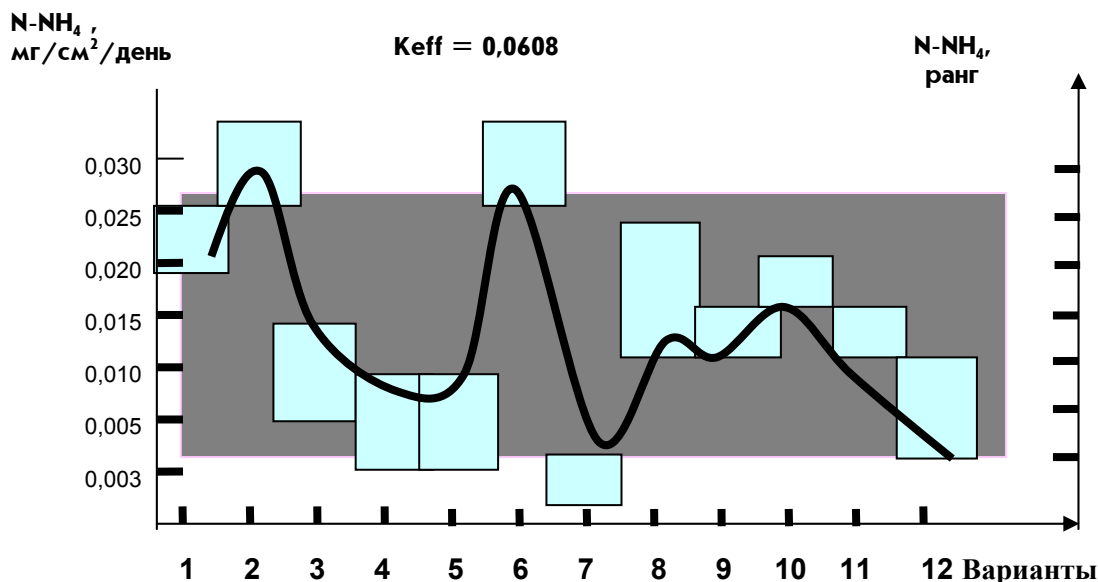
Дополнительно в каждой технологии изучалось влияние чередования культур: кукуруза – кукуруза – пар (constant corn) и кукуруза – соя – пшеница (CSW), также влияние покровной культуры (озимая рожь) в качестве противозерозионной ме-

ры в зимний период (cover crop) и дополнительное внесение минеральных азотных удобрений. В целом четырехфакторная схема (А – технология, В – севооборот, С – азотные удобрения, В – покровная культура) опыта включала 12 вариантов.

Определение аммонийного и нитратного азота в почве проводилось в течение вегетационного периода 2007 г. с помощью ионо-обменных пластин (2,5x10 см), которые помещались на глубину 10 см и менялись через каждые 2 недели. Детальное описание методики определения ионов почвенного раствора с помощью ионо-обменных смол можно найти на сайте коммерческого продукта <http://www.westernaglabs.com/info.php>. Десорбция и определение поглощенных ионов проводилось в лаборатории кафедры растениеводства и почвоведения Мичиганского государственного университета (Plant and Soil Sciences Department of MSU). Данная методика позволяет имитировать поглощение питательных веществ (минеральных форм азота) корнями растений в течение всего периода вегетации. Для математической оценки закономерностей пространственной и сезонной динамики минеральных форм азота в почве использован информационно-логический алгоритм [7].

Результаты и обсуждение

Анализ сезонной динамики аммонийного азота в почве показал, что диапазон варьирования N-NH₄ в течение вегетационного периода осуществляется в пределах от 0,003 до 0,030 мг/см²/день. Эта зависимость характеризуется значительной теснотой ($K_{\text{eff}} = 0,265$) и доказывает достоверность сезонной динамики, так как значительно превышает пространственную ($K_{\text{eff}} = 0,0341$) вариацию. В динамической системе возможных состояний СППВ экстремальные состояния справедливо признать неустойчивыми. Поэтому 1-й и 7-й ранги мы исключили из диапазона устойчивой сезонной динамики (рис. 1). Динамика содержания аммонийного азота в почве устойчива, если она осуществляется в пределах от 0,025 до 0,005 мг/см²/день. Ранее нами было доказано, что чем шире диапазон вегетационной динамики СППВ, тем почва более устойчива к антропогенным воздействиям [8]. Чем уже этот диапазон, тем легче регулировать режим подвижных питательных веществ в почве, хотя при этом возникает опасность нарушения естественной почвенной устойчивости.



ВАРИАНТЫ

- 1 - Conventional, CSW, no cover, no N; 2 - Conventional, CSW, cover, no N;
- 3 - IC, const. corn, no cover, no N; 4 - IC, const. corn, cover, no N;
- 5 - IF, const. corn, no cover, no N; 6 - IF, const. corn, no cover, N;
- 7 - IF, const. corn, cover, no N; 8 - IF, const. corn, cover, N;
- 9 - IF, CSW, no cover, no N; 10 - IF, CSW, cover, no N;
- 11 - Org., const. corn, no cover, no N; 12 - Org., const. corn, cover, no N

Рис. 1. Специфические состояния содержания и пространственная вариация аммонийного азота на различных вариантах опыта

Информационный анализ зависимости содержания аммонийного азота от технологии производства позволил установить специфические состояния на различных вариантах опыта (рис. 1). Это значит, что несмотря на сезонную динамику наиболее вероятное изменение содержания аммонийного азота осуществляется в пределах этих состояний. На вариантах переходной технологии (IF) с монокультурой 5,7 (по сравнению с севооборотом) отмечается снижение устойчивости почвенной системы, причем при введении покровной культурой – за пределы нижней границы (рис. 2). По-видимому, это связано с азотным истощением почв и снижением активности аммонификации. Ежегодное формирование большой биомассы и потребление азота покровной культурой формирует большой вынос азота из почвы. На вариантах компостом (3, 4) наблюдается снижение содержания аммонийного азота, особенно с введением покровной культуры – уровень обменного аммония на границе устойчивости. Это происходит в результате усиления микробиологической активности почв при внесении свежего органического вещества в почву и временной иммобилизации азота

микроорганизмами. С экологической точки зрения это положительный процесс. Однако экономическая эффективность данной системы может быть ограничена снижением урожайности культур. В практике органического земледелия многие исследователи отмечают временное снижение продуктивности, последствие компоста отмечается лишь после 2-3 лет [9]. На вариантах 2 (обычная технология) и 6 (с внесением минерального азота) уровень содержания аммонийного азота выходит за пределы верхней границы устойчивой вегетационной динамики. Введение покровной культуры в условиях севооборота (вариант 9) повышает устойчивость динамики содержания $N-NH_4$, а в условиях бессменной культуры (вариант 6) приводит к снижению устойчивости за пределы нижней границы.

Область устойчивой вегетационной динамики нитратного азота характеризуется значениями от 0,30 до 0,05 mg/cm²/day. В динамике N/NO_3 отмечаются 3 периода повышения содержания нитратов (май, июль, октябрь), что обусловлено благоприятными гидротермическими условиями и повышением микробиологической активности, а также внесением удобрений

(май). Снижение нитратного азота в июне обусловлено высоким потреблением азота растениями в период роста и формирования урожая в августе.

Анализ динамики содержания нитратного азота в течение вегетации (рис. 2) показал, что на большинстве вариантов уровень нитратов не выходил за пределы его устойчивого диапазона. Лишь на варианте 2 (обычная технология с покровной культурой) уровень нитратов в период роста растений выходит за пределы верхней границы устойчивости. На вариантах 5, 7 (переходная технология с бессменной кукурузой, с покровной культурой и без нее) содержание нитратов снижается за пределы нижней границы устойчивости. Это связано со значительным выносом азота урожаем и потреблением его покровной культурой.

Оценка устойчивости почвы тесно связана с вопросами «экологического нормирования». По определению И.Н. Росновского, под нормальным экологическим состоянием почвы следует понимать состояние наибольшего соответствия ее структуры, свойств и функций экологическим нишам данного биологического сообщества [10]. Подход к определению уровней экологического состояния и терминология позаимствованы нами у эколо-

гов [11]. **Экологическая норма** предполагает устойчивое функционирование почвенной системы, что подтверждается постоянством продуктивности (плодородия), почвенных факторов и индикаторов. Для сезонной динамики минеральных форм азота это зона устойчивого диапазона варьирования. **Экологический риск** – это состояние снижения устойчивости экосистем (почв), т.е. выхода экологического фактора из зоны толерантности и приближение его к зонам максимума или минимума (специфичность вегетационной динамики выходит за пределы устойчивого диапазона). Это неминуемо ведет в дальнейшем к спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями, предполагающими сокращение хозяйственного использования и планирование их улучшения. **Экологический кризис** представляет собой такое состояние почвенных факторов, которое сопровождается снижением продуктивности и потерей устойчивости почвенных систем, стабильным изменением экологических индикаторов и свойств.

В соответствии с определением можно оценить экологическое состояние почв на различных вариантах опыта (табл.).

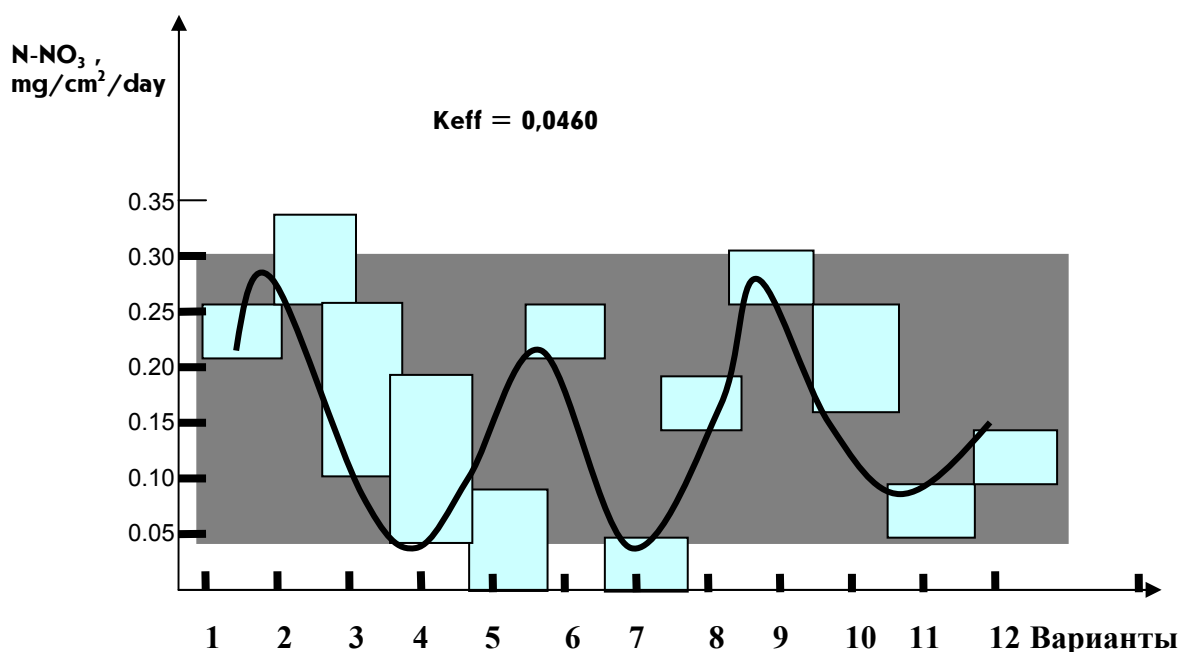


Рис. 2. Специфические состояния содержания и пространственная вариация нитратного азота на различных вариантах опыта

Таблица
 Специфичные состояния аммонийного и нитратного азота в зависимости от технологии возделывания культур
 и оценка их экологического состояния

№	Варианты	Содержание N-NH ₄		Содержание N-NO ₃		Урожайность, т/га
		mg/cm ² /day (ранг)	экологическое состояние	mg/cm ² /day (ранг)	экологическое состояние	
1	Conventional, CSW, no cover, no N	0,020-0,025 (6)	Normal	0,20-0,25 (5)	Normal	6,39
2	Conventional, CSW, cover, no N	0,025-0,030 (7)	Risk of pollution	0,25-0,30... (6-7)	Risk of pollution	5,80
3	IC, const, corn, no cover, no N	0,005-0,015 (3-4)	Normal	0,10 - 0,25 (3-5)	Normal	4,87
4	IC, const, corn, cover, no N	0,003-0,010 (2-3)	Normal	0,05-0,20 (2-4)	Normal	5,41
5	IF, const, corn, no cover, no N	0,003-0,010 (2-3)	Normal	0,05-0,10 (1-2)	Risk of depletion	3,70
6	IF, const, corn, no cover, N	0,025-0,030 (7)	Risk of pollution	0,20-0,25 (5)	Normal	6,67
7	IF, const, corn, cover, no N	0,003-0,005 (1-2)	Risk of depletion	0,05 (1)	Risk of depletion	3,67
8	IF, const, corn, cover, N	0,010-0,025 (4-6)	Normal	0,15-0,20 (4)	Normal	6,62
9	IF, CSW, no cover, no N	0,010-0,015 (4)	Normal	0,25-0,30 (6)	Normal	7,28
10	IF, CSW, cover, no N	0,015-0,020 (5)	Normal	0,15-0,25 (4-5)	Normal	6,39
11	Org., const. corn, no cover, no N	0,010-0,015 (4)	Normal	0,05-0,10 (2)	Normal	6,50
12	Org., const. corn, cover, no N	0,003-0,010 (2-3)	Normal	0,10-0,15 (3)	Normal	6,57
HCP						
						0,75

Поскольку продуктивность агроценоза является также обязательным критерием, в таблице приведены данные урожайности зерна кукурузы. Так, на варианте с обычной технологией в севообороте с покровной культурой (2) и на варианте с переходной технологией (IF) с внесением азота (6) экологическое состояние почв соответствует уровню «риска загрязнения». Несмотря на то, что снижения урожайности не наблюдается, возможен риск загрязнения с.-х. продукции и окружающей среды за счет геохимической миграции минерального азота. На вариантах с переходной технологией при бессменном выращивании кукурузы без удобрений (варианты 5 и 7) оценка экологического состояния почв соответствует «риску истощения». Это подтверждается достоверным снижением урожайности на вариантах почти в 2 раза. На вариантах с компостом (3, 4) отмечается снижение урожайности, хотя экологическое состояние почв по азоту оценивается как нормальное. Причина, по-видимому, заключается в том, что в многолетнем опыте длительное время не вносились фосфорные и калийные удобрения. К снижению урожайности может приводить не только недостаток фосфора или калия в почвах, но и их избыток. Существующие критерии оценки обеспеченности почв питательными веществами не совершенны, поскольку они не учитывают сезонную динамику подвижных форм СППВ [12]. Изучение сезонной динамики содержания подвижных форм фосфора и калия могло бы существенно дополнить оценку экологического состояния почв.

Заключение

В почвенных системах (агроценозах) сезонная динамика содержания аммонийного и нитратного азота в почве осуществляется в пределах устойчивого диапазона. Диапазон сезонной динамики минеральных форм азота в почве предложен в качестве критерия оценки экологического состояния почв под действием сельскохозяйственного использования. Обычная система земледелия с использованием синтетических удобрений способна обеспечить уровень экологического риска загрязнения. Отказ от азотных удобрений при переходной технологии приводит к экологическому состоянию риска истощения. Введение покровной культуры и органическая система земледелия гарантируют в почвенной системе состояние, соответ-

ствующее экологической норме. Контроль за диапазоном вегетационной динамики содержания ППВ в почве позволяет выявлять скрытые формы нарушений устойчивости и поддерживать стабильность агроэкосистем, т.е. сохранять заданные характеристики параметров в течение определенного промежутка времени.

Для того чтобы максимально использовать способность почв к саморегуляции, необходимо обеспечить бездефицитный баланс органического вещества и питательных веществ в агроценозе. Дефицит органического вещества, ежегодно поступающего в почву, и антропогенное усиление процессов минерализации можно уменьшить за счет структуры севооборотов. Замена чистых паров на сидеральные, введение покровной культуры и др. позволит поддерживать экологическое состояние почв в пределах нормы и обеспечит удовлетворительное агрохимическое состояние почв в течение всего периода вегетации.

Библиографический список

1. Zhu W.X. Soil characteristics and the accumulation of inorganic nitrogen in an arid urban ecosystem / W.X. Zhu, D. Hope, C. Gries, N.B. Grimm // *Ecosystems*. – 2006. – Vol. 9. – № 5. – P. 711-724.
2. Kravchenko A.N. Correlation of Corn and Soybean Grain Yield with Topography and Soil Properties / A.N. Kravchenko, D.G. Bullock // *Agronomy Journal*. – 2000. – Vol. 92. – № 1. – P. 75-83.
3. Nikitishen V.I. Nitrogen budget in agroecosystems on gray forest soils under long-term fertilization / V.I. Nikitishen, V.I. Lichko // *Eurasian Sol Science*. – 2008. – Vol. 41. – № 4. – P. 429-440.
4. Минин В.Б. Прогнозирование азотного режима пахотных почв в условиях гумидного климата / В.Б. Минин // Тез. докл. 2-го Съезда Общ-ва почвоведов (г. Санкт-Петербург, 27-30 июня, 1996 г.). – М., 1996. – Кн. 1. – С. 57-58.
5. Трубецков Д.И. Введение в сенергетику. Хаос и структуры. / Д.И. Трубецков. – М.: Editorial URSS, 2004. – 240 с.
6. Crum J.R., and H.P. Collins. 2004. Kellogg Biological Station soils. Available at http://lter.kbs.msu.edu/about/site_description/soils.php (verified 15 Apr. 2008).
7. Пузаченко Ю.Г. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности / Ю.Г. Пузаченко, Л.О. Карпачевский, Н.А. Взнуздаев // *Законо-*

мерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – М.: Наука, 1970. – С. 103-121.

8. Бурлакова Л.М. Содержание подвижных питательных веществ как индикатор устойчивости / Л.М. Бурлакова, Е.Г. Пивоварова // Известия аграрной науки. – Тбилиси, 2005. – Т. 3. – № 1. – С. 38-43.

9. Herencia J.F. A short-term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam using two organic amendments / J.F. Herencia, J.C. Ruiz, S. Melero, P.A. Garsia Galavis, C. Maqueda // Journal of Agricultural Science. – 2008. – Vol. 146. – P. 677-687.

10. Росновский И.Н. Устойчивость экосистем: введение в проблему и методы

исследования / И.Н. Росновский. – Томск: Спектр ИОА СО РАН. 1997. – 53 с.

11. Петров К.М. Общая экология: взаимодействие общества и природы: учеб. пос. для вузов / К.М. Петров. – СПб.: Химия, 1997. – 352 с.

12. Schnier H.F. Towards a practical approach to fertilizer recommendations for food crop production in smallholder farms in Kenya / H.F. Schnier, H. Recke, F.N. Muchena, A.W. Muriuki // Nutrient Cycling in Agroecosystems. – 1996. – Vol. 47. – № 3.

Работа выполнена при поддержке гранта CIES, Fulbright Grant № 08-31857.



УДК 632.4

**А.М. Макеева,
Н.В. Салманов,
О.А. Штанова,
К.С. Пименов**

УСТОЙЧИВОСТЬ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ К ВОЗБУДИТЕЛЯМ БОЛЕЗНЕЙ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Ключевые слова: картофель, сорт, возбудители болезней, парша обыкновенная, ризоктониоз, парша серебристая, фомозная гниль, фузариозная гниль, устойчивость, восприимчивость.

Введение

Среди пищевых растений картофель занимает в мире четвертое место после пшеницы, риса и кукурузы и является одним из основных продуктов питания в нашей стране. На его долю приходится более 10% мирового производства этой культуры (Россия занимает второе место после Китая).

Важное значение картофеля в питании человека связано как с содержанием крахмала, протеина, минеральных солей и витаминов, так и особо ценных оксидантов, играющих огромную роль в профилактике атеросклероза, отдельных форм рака, катаракты, возрастных изменений пигментации кожи [1].

Но на полях «второго хлеба» – картофеля в последние годы наблюдается непростая обстановка: низкая урожайность в результате дестабилизации фитосанитарного состояния (наряду с фитофторозом возросла вредоносность фомоза, фузариоза, различных видов парши); большинство возделываемых сортов не гарантируют наличие качественных клубней. В результате ущерб, причиняемый болезнями, достигает 40-55%, в том числе 20-30% – в период хранения за счет зараженности клубней сухими гнилями и различными видами парши [2]. Причем многие исследователи отмечают, что поражение вегетирующего картофеля – одна из основных причин потерь продукции при хранении. Кроме того, в настоящее время товаропроизводители обеспокоены вопросом получения не только высоких урожаев, но и обеспечения покупателей клубнями, здоровыми от болезней, с высокими вкусовыми качествами [3].