

Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля

Л. И. Петрова¹✉, Ю. И. Митрофанов¹, М. В. Гуляев¹, Н. К. Первушина¹

¹ ФИЦ «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», Москва, Россия

✉ E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Аннотация. Целью исследований было изучение влияния норм удобрений в зависимости от осушения и погодных условий на урожайность и качество картофеля, окупаемость их прибавкой урожая. **Методология и методы исследований.** Исследования проводили в двухфакторном полевом опыте в 2012–2020 гг., фактор А – осушение (осушенная закрытым гончарным дренажом и неосушенная почва), фактор В – различные нормы удобрения (без удобрений; компост многоцелевого назначения (КМН) 10 т/га + K₉₀; КМН 10 т/га + N₇₀K₁₈₀). Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая, хорошо окультуренная. Картофель возделывали по разработанной во ВНИИМЗ грядовой технологии, предшественник озимые зерновые культуры. По погодным условиям годы исследований разделены на избыточно влажные, влажные и засушливые. Анализы и наблюдения проводили по общепринятым методикам опытного дела, расчеты с использованием статистического анализа. **Результаты.** Выявлены тенденции изменения показателей водно-воздушного режима пахотного слоя почвы (влажности, общей порозности, порозности аэрации, объемной массы) в зависимости от осушения и погодных условий. Установлено влияние норм удобрений на осушенном и неосушенном участках в зависимости от погодных условий на содержание минерального азота в почве, урожай картофеля и его структуру, качество продукции (содержание нитратов, крахмала в клубнях), использование фотосинтетически активной солнечной радиации (КПД ФАР), окупаемость удобрений прибавкой урожая. Определена доля влияния удобрений и осушения на вариabельность урожая в различных погодных условиях. **Научная новизна.** Установлена доля участия изучаемых факторов в вариabельности урожая картофеля и рациональные нормы применения удобрений в зависимости от почвенных и погодных условий.

Ключевые слова: картофель, осушение, удобрения, погодные условия, водно-воздушный и питательный режимы, урожайность, качество продукции, окупаемость удобрений.

Для цитирования: Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Гуляев М. В., Первушина Н. К. Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля // Аграрный вестник Урала. 2021. № 04 (207). С. 34–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.

Дата поступления статьи: 29.01.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Необходимым условием, обеспечивающим эффективное использование осушаемых земель, получение требуемых урожаев и продукции высокого качества, является поддержание в корнеобитаемом слое почвы благоприятных для растений агрофизических условий по критериям водно-воздушного режима. Нарушение водно-воздушного режима и накопление в почве токсичных продуктов анаэробного разложения считаются основными причинами низкой продуктивности переувлажненных почв [1, с. 29], [2, с. 29], [3, с. 42]. Система земледелия на осушаемых землях должна строиться с учетом их мелиоративного состояния по водному режиму, биологических особенностей возделываемых культур и почвенно-климатических ресурсов, во многом определяющих количество и качество получаемой продукции [4, с. 43], [5, с. 30], [6, с. 9], [7, с. 21], [8, с. 32].

Дерново-подзолистые почвы Нечерноземной зоны России отличаются невысоким естественным плодородием, поэтому применение удобрений является необхо-

димым основным средством, обеспечивающим повышение урожайности сельскохозяйственных культур на этих почвах [9, с. 19], [10, с. 34], [11, с. 31], [12, с. 30], [13, с. 12]. Особую актуальность они приобрели в картофелеводстве при использовании высокоинтенсивных энергоемких технологий, сопровождающихся большим выносом питательных веществ, что обуславливает необходимость применения органических и минеральных удобрений [14, с. 31], [15, с. 11], [16, с. 11], [17, с. 583], [18, с. 56]. Важное значение в таких технологиях при высокой стоимости удобрений и ограниченности их ресурсов имеет установление наиболее рациональных норм внесения удобрений, обеспечивающих высокий уровень их окупаемости.

Цель наших исследований – выявить влияние различных норм внесения удобрений в зависимости от осушения и погодных условий на урожайность и качество продукции картофеля, окупаемость удобрений.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования по изучению формирования урожайности картофеля проводили в плодосменном четырех-

полном севообороте в двухфакторном полевом опыте в 2012–2020 гг. в Тверской области. Фактор А – осушение: осушенная закрытым гончарным дренажом (междреннее расстояние – 20 м, глубина заложения дрен – 0,9–1,2 м) и неосушенная почва. Фактор В – разные нормы удобрения: без удобрений; компост многоцелевого назначения (КМН) 10 т/га + K₉₀ (средние нормы); КМН 10 т/га + N₇₀K₁₈₀ (высокие нормы). Для оценки влияния погодных условий на формирование продуктивности картофеля годы исследований были сгруппированы по близким показателям гидротермического коэффициента (ГТК). Технология возделывания картофеля грядовая, разработанная во ВНИИМЗ, предшественники – озимые зерновые культуры (рожь, тритикале). Выращивались районированные сорта картофеля, норма посадки клубней – 40 тыс/га.

Почва опытных участков дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая, хорошо окультуренная с содержанием подвижного фосфора 120–240, калия – 150–200 мг/кг почвы (по Кирсанову) и гумуса – 2,09–2,38 % (по Тюрину), pH_{сол.} – 4,4. Опыт заложен в четырехкратной повторности, размещение вариантов производилось методом расщепленных делянок. Общая площадь делянок второго порядка – 430 м², учетная – 20. Во все годы исследований проводили наблюдения за водно-физическими (плотность, влажность почвы, общая пористость и порозность аэрации) и агрохимическими (содержание аммиачного и нитратного азота) показателями почвы, качество клубней оценивали по содержанию нитратов и крахмала.

Анализы и наблюдения проводили по общепринятым и гостированным методикам. Статистическую обработку данных осуществляли методом дисперсионного анализа с использованием программы Statistica.

Результаты (Results)

В годы исследований погодные условия различались. Для общей оценки погодных условий использовался ГТК по Селянинову. К избыточно влажным отнесены 2012, 2017, 2020 годы (ГТК за вегетационный период составил 2,02–2,31), к влажным – 2015, 2016, 2018, 2019 годы (с ГТК 1,12–1,58), к засушливым – 2013 и 2014 годы (с ГТК 0,95–0,99).

Ведущим фактором дифференциации сельскохозяйственного использования осушаемых земель является влажность корнеобитаемого слоя почвы. Для картофеля на легких по гранулометрическому составу почвах нижний оптимальный предел влажности почвы составляет 65 % НВ [19, с. 47]. Влажность пахотного слоя на осушенном участке в среднем за вегетацию по указанным грациям лет (избыточно влажным, влажным и засушливым) составила 71, 62, 40 % НВ, на неосушенном – 99, 73, 56.

Картофель предъявляет определенные требования к влажности почвы в отдельные фазы развития. В фазы онтогенеза – прорастание клубней, появление всходов и начало формирования ботвы, растения картофеля не требовательны к влажности почвы, хорошо переносят засушливую погоду, формируя развитую корневую систему. В фазы бутонизации и цветения, когда идет активный

Таблица 1
Влажность пахотного слоя почвы под посадками картофеля в разные периоды вегетации, % НВ

Годы исследований	Периоды вегетации картофеля		
	Прорастание клубней, появление всходов и формирование ботвы	Наибольший рост ботвы, фазы бутонизации и цветения	Формирование клубней – созревание
Осушенный участок			
Избыточно влажные	74	65	74
Влажные	63	68	48
Засушливые	49	37	22
Неосушенный участок			
Избыточно влажные	102	97	91
Влажные	74	79	61
Засушливые	64	56	28

Table 1
Moisture of the arable layer of soil under potato planting in different periods of the growing season, % of the lowest moisture capacity

Years of research	Potato growing periods		
	Germination of tubers, emergence and formation of tops	The greatest growth of foliage, budding and flowering phases	Tuber formation – ripening
Drained area			
Excessively wet	74	65	74
Wet	63	68	48
Arid	49	37	22
Non-drained area			
Excessively wet	102	97	91
Wet	74	79	61
Arid	64	56	28

рост ботвы, резко поднимается потребность картофеля во влаге, а недостаток негативно отражается на формировании столонов, образовании клубней, фотосинтезе. В этот период уровень влажности почвы должен составлять 70–80 % НВ. В последующие фазы – формирование и созревание клубней – для получения высокого и качественного урожая необходима теплая и умеренно влажная погода с влажностью почвы 55–60 % НВ. В таблице 1 приведена влажность пахотного слоя почвы под посадками картофеля по трем обозначенным периодам вегетации.

Наиболее благоприятной влажность пахотного слоя почвы для картофеля на осушенном участке в среднем за вегетацию была в избыточно влажные годы, во влажные годы (2015, 2016 и 2018) влаги было недостаточно в фазу формирования клубней – созревания (32–47 % НВ), в засушливые – в течение всего периода вегетации, особенно во второй половине.

На неосушенном участке близкая к оптимальному состоянию влажность почвы в среднем за вегетацию была во влажные годы, в избыточно влажные в отдельные фазы развития картофеля наблюдалось переувлажнение (101–113 % НВ), в засушливые годы влажность почвы под картофелем была недостаточной, особенно в конце вегетации.

Помимо влажности почвы, важную роль для благоприятного развития растений играет водно-воздушный режим пахотного слоя почвы, оптимальные значения общей пористости равняются 50–55 %, порозности аэрации – не менее 20 % объема почвы. Для дерново-подзолистых почв с повышенной влажностью почвы хорошее обеспечение растений водой и воздухом складывается при их соотношении 1:1 [20, с. 47]. Значения общей пористости в течение 2012–2020 гг. как на осушенном, так и на неосушенном участке были на уровне оптимальных значений – 52–55 % объема почвы. На обоих участках объем пор, занятых воздухом, самый высокий был в засушливые годы, на осушенном – 43 % объема почвы, на неосушаемом – 39 %, что указывает на недостаточную влагообеспеченность растений в эти годы. На осушенном пористость аэрации выше оптимальных значений была и в остальные годы (37–38 % объема почвы), на неосушенном во влажные годы – 32 %. Плотность пахотного слоя почвы также во все годы наблюдений на обоих участках находилась на уровне оптимальных значений, предъявляемых при выращивании картофеля на легкосуглинистых почвах (1,14–1,19 г/см³).

Наблюдения за содержанием минерального азота в почве под картофелем показали, что в среднем за 2012–2020 гг. сумма нитратного и аммиачного азота на варианте без внесения удобрений находилась на низком уровне и составила 16,4–17,0 мг/кг почвы. При использовании средних и высоких норм удобрений содержание $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ в почве соответствовало высокому уровню и составляло 40,4–40,9 и 71,4–85,6 мг/кг соответственно.

Во влажные по ГТК годы на варианте, где вносился $\text{KMn} + \text{K}_{90}$, по сравнению с вариантом без удобрения содержание минерального азота в почве на обоих участках было больше в 2,5–2,7 раза, при внесении 10 т/га + $\text{N}_{70}\text{K}_{180}$ – в 4,8–5,2 раза, в избыточно влажные – соответ-

ственно в 2,7–3,0 и 3,8–4,0 раза, в засушливые – в 2,0–2,1 и 3,2–3,8 раза (таблица 2).

Погодные условия также влияли на суммарное содержание нитратного и аммиачного азота. Выше всего их содержание было во влажные по ГТК годы, в избыточно влажные – несколько ниже, а в засушливые – значительно меньше (таблица 2).

В зависимости от фаз развития растений по грациям лет наибольшие различия значений суммарного содержания нитратного и аммиачного азота на обеих почвах были при прохождении 1-го и 2-го периодов вегетации. В 1-й период (прорастание клубней, появление всходов и формирование ботвы) в среднем по вариантам опыта значения $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ в почве были больше во влажные и избыточно влажные годы и составляли 66–79 мг/кг почвы, в засушливые – 37–41. Во 2-й период (наибольший рост ботвы, фазы бутонизации и цветения) выше значения были во влажные годы 35–39 мг/кг почвы, в засушливые – 15–25, самые низкие в избыточно влажные – 10–14. В 3-й период (формирование клубней – созревание) во все годы идет снижение суммы NO_3 и NH_4 в почве и сближение значений на обеих почвах в среднем по вариантам опыта до уровня 11–18 мг/кг почвы.

Содержание нитратов в клубнях картофеля было значительно выше на вариантах с внесением удобрений, но не превышало значений ПДК (250 мг/кг), по вариантам опыта в среднем составив во влажные годы 120,2–169,0 мг/кг, в засушливые – 79,8–133,5. Корреляционный анализ между содержанием нитратов в клубнях и суммарным содержанием NO_3 и NH_4 в почве выявил сильную корреляционную связь: коэффициент корреляции составил 0,76–0,86.

По содержанию крахмала в клубнях можно отметить тенденцию снижения во влажные и избыточно влажные годы по сравнению с засушливыми, на осушенных участках с 14,1 % до 12,6–12,8, на неосушенных – с 13,0 до 12,4–12,8. На осушенной почве на вариантах с применением удобрений в избыточно влажные и засушливые годы наблюдалась тенденция повышения содержания крахмала по сравнению с неудобренным фоном соответственно с 12,3 до 13,0 % и с 13,9 до 14,3 %, во влажные годы при средних нормах удобрений значения по крахмалу были близкими, при высоких содержание крахмала несколько снижалось – с 12,8 до 12,2 %. На неосушенном участке во все годы отмечена тенденция его снижения на вариантах с удобрениями с 13,0–14,4 до 11,6–13,0 % по сравнению с вариантом без удобрений. В среднем за 9 лет на осушенной почве прослеживается тенденция повышения содержания крахмала при внесении удобрений: при средних нормах – с 12,7 до 13,3 %, при высоких – до 12,9; на неосушенной, наоборот, отмечено его снижение – с 13,6 до 11,9–12,1 %.

Исследования показали, что погодные условия оказывают существенное влияние на урожайность картофеля. На осушенной почве наиболее низкий урожай картофеля сформировался в засушливые годы – меньше на 32 и 38 % по сравнению с влажными и избыточно влажными, на неосушенной наиболее низкий урожай получили в избыточно влажные годы – на 14 и 18 % по сравнению с засушливыми и влажными (таблица 3).

Таблица 2

Влияние удобрений, осушения и погодных условий на содержание минерального азота в почве (мг/кг почвы, в среднем за 2012–2020 гг.) и нитратов в клубнях (мг/кг)

Вариант удобрений	Годы исследований					
	Избыточно влажные		Влажные		Засушливые	
	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ в почве	NO_3 в клубнях	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ в почве	NO_3 в клубнях	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ в почве	NO_3 в клубнях
Осушенный участок						
Без удобрений	15,9	110,7	17,4	91,5	13,0	61,8
Средние нормы	42,5	148,0	44,3	187,0	27,4	164,0
Высокие нормы	63,1	182,9	83,3	228,6	48,8	174,8
Среднее	40,5	147,2	48,3	169,0	29,7	133,5
Неосушенный участок						
Без удобрений	16,1	83,8	17,6	61,2	13,4	48,0
Средние нормы	48,2	107,4	48,1	94,8	26,8	83,3
Высокие нормы	60,5	148,6	91,9	204,7	42,6	108,2
Среднее	41,6	113,3	52,5	120,2	27,6	79,8

Table 2
Influence of fertilizers, drainage and weather conditions on the content of mineral nitrogen in the soil (mg / kg of soil, on average for 2012–2020) and nitrates in tubers (mg/kg)

Fertilizer option	Years of research					
	Excessively wet		Wet		Arid	
	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ in soil	NO_3 in tubers	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ in soil	NO_3 in tubers	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ in soil	NO_3 in tubers
Drained area						
No fertilizers	15.9	110.7	17.4	91.5	13.0	61.8
Average norms	42.5	148.0	44.3	187.0	27.4	164.0
High norms	63.1	182.9	83.3	228.6	48.8	174.8
The average	40.5	147.2	48.3	169.0	29.7	133.5
Non-drained area						
No fertilizers	16.1	83.8	17.6	61.2	13.4	48.0
Average norms	48.2	107.4	48.1	94.8	26.8	83.3
High norms	60.5	148.6	91.9	204.7	42.6	108.2
The average	41.6	113.3	52.5	120.2	27.6	79.8

Таблица 3

Урожайность картофеля в зависимости от изучаемых факторов, т/га

Вариант удобрений	Годы исследований			В среднем за 2012–2020 гг.
	Избыточно влажные	Влажные	Засушливые	
Осушенный участок				
Без удобрений	13,8	24,4	13,3	18,5
Средние нормы	43,4	35,4	24,3	35,6
Высокие нормы	51,5	39,5	30,1	41,5
Среднее	36,2	33,1	22,6	31,9
Неосушенный участок				
Без удобрений	9,6	20,2	16,6	15,8
Средние нормы	26,4	28,5	28,2	25,9
Высокие нормы	31,9	34,5	34,2	31,2
Среднее	22,6	27,7	26,3	24,3
НСР ₀₅ : любых средних удобрений почв, лет	3,7			4,2
	1,5			3,0
	1,2			2,4
	1,2			—

Table 3

Potato yield depending on the studied factors, t/ha

Fertilizer option	Years of research			On average for 2012–2020
	Excessively wet	Wet	Arid	
Drained area				
No fertilizers	13.8	24.4	13.3	18.5
Average norms	43.4	35.4	24.3	35.6
High norms	51.5	39.5	30.1	41.5
The average	36.2	33.1	22.6	31.9
Non-drained area				
No fertilizers	9.6	20.2	16.6	15.8
Average norms	26.4	28.5	28.2	25.9
High norms	31.9	34.5	34.2	31.2
The average	22.6	27.7	26.3	24.3
LSD ₀₅ : any medium fertilizers soils, years	3.7			4.2
	1.5			3.0
	1.2			2.4
	1.2			—

Во все годы применение и повышение норм удобрений положительно сказывалось на формировании урожая картофеля. На почве с дренажом в среднем за весь период исследований на варианте, где применялись средние нормы удобрений, по сравнению с вариантом без удобрений урожайность повысилась в 1,9 раза, с высокими – в 2,2, на неосушенном участке – в 1,6 и 2,0 раза соответственно уровням удобрений. Прирост урожайности от повышения величины вносимого удобрения на осушенной почве составил 17 %, неосушенной – 20 %.

Большой эффект от осушения отмечен в избыточно влажные годы, прибавка урожая в среднем по вариантам опыта составила 60 %, во влажные – 19 %, по девятилетним данным – 31 %. Стоит также отметить, что урожайность картофеля в засушливые годы лучше формировалась на участке без дренажа, прибавка в среднем по вариантам опыта составила 16 %.

На использование культурой удобрений оказывали влияние погодные условия. Наибольшие прибавки урожая от применения удобрений на обеих почвах были получены в избыточно влажные годы, на осушенной почве при средних нормах они составили 214 %, высоких – 273, на неосушенной – соответственно нормам – 175 % и 232 %, во влажные годы соответственно почвам и нормам прибавки урожая составили 45 и 62, 41 и 71 %.

Применение удобрений на осушенной почве способствовало получению самого высокого урожая в избыточно влажные годы, на неосушенной – во влажные и засушливые, при этом уровень урожайности имел близкие значения. В варианте без удобрений на обоих фонах осушения выше урожай получили во влажные годы.

На фоне удобрений разница в урожайности по грациям лет, по сравнению с неудобренным вариантом, была меньше. На неудобренном варианте урожай по грациям лет на осушенной почве отличался в 1,8 раза, при средних нормах – в 1,2–1,8, при высоких – в 1,3–1,7, на неосушенной в первом варианте в 1,2–2,1, во втором и третьем – в 1,0–1,1.

Доля участия в вариативности урожая изучаемых факторов распределилась следующим образом: удобрений – 66,0 %, граций лет – 6,0 %, осушения – 5,6 %. В различных погодных условиях доля влияния удобрений и осушения на вариативность урожая различалась: в избыточно влажные годы доля удобрений составила 74,1 %, осушения – 20,8 %, во влажные соответственно – 83,2 и 16,1, в засушливые – 93,4 и 6,5 %. В среднем за 9 лет доля влияния осушения на вариативность урожая 17,4 %, удобрений – 79,0 %.

Эффективность применения удобрений в посевах культур можно определить по окупаемости 1 кг д. в. прибавкой урожая. Наибольшая окупаемость 1 кг д. в. удобрений прибавкой урожая картофеля на обоих участках в среднем за 9 лет установлена от внесения высоких норм на осушенной почве – 35,2 кг, неосушенной – 23,6 кг, при средних нормах составила соответственно 34,6 и 20,4 кг. В зависимости от погодных условий выше на обеих почвах была в избыточно влажные годы, на осушенной при средних нормах – 59,9 кг, на неосушенной при высоких – 34,1 кг. В засушливые и влажные годы на обеих почвах

больше была на фоне высоких норм, на осушенной почве – соответственно 25,7 и 23,1 кг/кг, на фоне средних норм – 22,3, на неосушенной соответственно грациям лет и нормам – 26,9 и 23,5, 21,9 и 16,8.

Анализ структуры урожая картофеля показал, что на осушенном участке количество и масса клубней с одного куста больше сформировались в избыточно влажные годы, в среднем по вариантам опыта соответственно составляли 16,5 шт. и 911 г, меньше в засушливые – 10,3 шт. и 692 г, влажные занимали промежуточное положение – 12,1 шт. и 841 г. На неосушенном участке количество клубней с одного куста наибольшее было также в избыточно влажные годы 13,4 шт., а масса в засушливые – 945 г, наименьшие их значения по количеству были в засушливые годы – 9,7 шт., по массе в избыточно влажные годы – 650 г.

Процент в урожае количества и массы крупных и средних клубней на обоих участках снижался с повышением влажности почвы, в среднем по вариантам опыта на осушенном в засушливые годы составил соответственно 58 и 83 %, во влажные – 52 и 78 %, в избыточно влажные – 45 и 77 %, на неосушенном соответственно грациям лет и показателям – 64 и 89, 49 и 77, 38 и 68 %.

На неудобренном фоне значения этих показателей на обоих участках меньше были в избыточно влажные годы, на осушенном по количеству на уровне 20 %, по массе – 59 %, на неосушенном – соответственно 23 и 48 %. В другие годы на осушенном участке на этом варианте значения их близкие, по количеству в пределах 48–49 %, массе – 74–75 %, на неосушенном во влажные годы составили соответственно 41 и 69 %, в засушливые выше – 56 и 84 %. Применение удобрений наиболее повышало процент количества и массы крупных и средних клубней на осушенном участке в избыточно влажные и засушливые годы, при высоких нормах – соответственно до 61 и 88–89 %, во влажные – до 55 и 80 %, на неосушенном в засушливые соответственно – до 70 и 92 %, во влажные – до 56 и 86 %, менее – в избыточно влажные – до 45 и 80 %.

Во все годы количество клубней и их масса с 1 куста на удобренных вариантах были больше по сравнению с неудобренным. Применение и повышение норм удобрений в большей степени повлияло на увеличение количества клубней и их массы с 1 куста на обоих участках в избыточно влажные годы, на осушенном с 14,7 до 18,0 шт. и в 3,0–3,5 раза, на неосушенном – с 10,5 до 15,8 шт. и в 2,6–3,3 раза, в меньшей во влажные соответственно участкам и показателям с 10,8 до 12,8 шт. и в 1,5–1,7 раза, с 11,6 до 12,5 шт. и в 1,3–1,8 раза.

Средняя масса 1 клубня в среднем по вариантам опыта больше была на осушенной почве во влажные годы 71 г, в засушливые – 65, в избыточно влажные – 62, на неосушенной в засушливые – 98 г, во влажные – 67, в избыточно влажные – 54. На удобренных вариантах по сравнению с неудобренным на обеих почвах она более изменялась в избыточно влажные годы, увеличиваясь на осушенной почве с 36,7 г до 70,1 и 79,0 (в 1,9 и 2,2 раза), во влажные – с 56,3 до 72,1 и 84,5 г (в 1,3 и 1,5 раза), в засушливые – с 45,7 до 74,4 и 74,6 г (в 1,6 раза), на неосушенной соответственно годам – с 33,7 г до 62,6 и 65,0 (в 1,9 раза), с 49,6 до 69,8 и 82,2 (в 1,4 и 1,7), с 64,9 до 106,2 и 122,3 (в 1,6 и 1,9 раза).

Таблица 4

Величина КПД ФАР на посадках картофеля в годы исследований в зависимости от изучаемых факторов, %

Вариант удобрений	Годы исследований			В среднем за 2012–2020 гг.
	Избыточно влажные	Влажные	Засушливые	
Осушенный участок				
Без удобрений	0,97	1,71	0,93	1,29
Средние нормы	3,03	2,47	1,70	2,49
Высокие нормы	3,60	2,76	2,11	2,90
В среднем	2,53	2,31	1,58	2,23
Неосушенный участок				
Без удобрений	0,67	1,42	1,16	1,11
Средние нормы	1,85	1,99	1,97	1,94
Высокие нормы	2,23	2,41	2,39	2,35
В среднем	1,58	1,94	1,84	1,80

Table 4

Benefit Coefficient of Photosynthetically Active Radiation on potato plantings during research years depending on the studied factors, %

Fertilizer option	Years of research			On average for 2012–2020
	Excessively wet	Wet	Arid	
Drained area				
No fertilizers	0.97	1.71	0.93	1.29
Average norms	3.03	2.47	1.70	2.49
High norms	3.60	2.76	2.11	2.90
The average	2.53	2.31	1.58	2.23
Non-drained area				
No fertilizers	0.67	1.42	1.16	1.11
Average norms	1.85	1.99	1.97	1.94
High norms	2.23	2.41	2.39	2.35
The average	1.58	1.94	1.84	1.80

Уровень фотосинтетически активной солнечной радиации (КПД ФАР), также определяет урожайность посевов. При значениях КПД ФАР 0,5–1,5 % посевы относятся к обычным, при 1,5–3,0 – к хорошим, при 3,5–5,0 – к рекордным [21, с. 11]. Расчет данного показателя в опыте показал, что эффективность использования ФАР посадками картофеля на почвах обоих фонов осушения возрастала при применении удобрения вообще, а при повышении используемых норм значительно (таблица 4). При внесении средних норм удобрений на осушенном участке величина КПД ФАР возросла в 1,9 раза, при высоких – в 2,2, на участке без дренажа – соответственно в 1,7 и 2,1 раза по сравнению с вариантом без использования удобрения.

Значения КПД ФАР изменялись и в зависимости от погодных условий: наиболее высокий показатель на вариантах с внесением удобрений на осушенной почве был в избыточно влажные годы, наименьшие значения – в засушливые годы. На опытном участке без дренажа все величины показателя были ниже (таблица 4).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, установлено влияние удобрений в зависимости от осушения и погодных условий на формирование урожая и качество продукции картофеля. Действие осушения сильнее проявилось в избыточно влажные годы, прибавка урожая в среднем по вариантам опыта

составила 60 %, во влажные годы – 20 %, по девятилетним данным – 31 %. В засушливые годы выше урожай получили на неосушенной почве в среднем по вариантам опыта на 16 %.

Более высокий эффект от применения удобрений на обеих почвах получен в избыточно влажные годы, на осушенной при средних нормах урожай повысился на 214 %, при высоких – на 273 %, на неосушенной – соответственно на 175 и 232 %. Доля участия в вариативности урожая изучаемых факторов распределилась следующим образом: удобрений – 66,0 %, градаций лет – 6,0 %, осушения – 5,6 %. В различных погодных условиях доля влияния удобрений и осушения на вариативность урожая различалась: в избыточно влажный год доля удобрений составила 74,1 %, осушения – 20,8 %, во влажные – соответственно 83,2 и 16,1 %, в засушливые – 93,4 и 6,5 %.

Наибольшая окупаемость 1 кг д. в. удобрений прибавкой урожая картофеля на обоих участках в среднем за 9 лет установлена при внесении высоких норм, на осушенной почве – 35,2 кг, неосушенной – 23,6, выше в избыточно влажные годы: на первой почве при средних нормах – 59,9, на второй при высоких – 34,1. Результаты исследований могут послужить основой при обосновании выбора более экономически выгодных технологических приемов возделывания картофеля в зависимости от почвенных и погодных условий.

Библиографический список

1. Янко Ю. Г., Петрушин А. Ф. О некоторых причинах переувлажнения и повторного заболачивания сельскохозяйственных земель в Ленинградской области // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 4. С. 29–31.
2. Макарычева Е. А., Овчинникова Е. В. Определение критической глубины залегания грунтовых вод на осушенных землях // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 5. С. 29–31.
3. Лагутина Т. Б., Шалагинова Л. Н. Влияние разных видов дренажных систем длительного срока эксплуатации на режим осушения пойменных торфяных почв // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 6. С. 42–47.
4. Сташевски З., Кузьмина О. А., Вологин С. Г. [и др.] Первые результаты эколого-географического испытания новых российских сортов картофеля // Земледелие. 2019. № 6. С. 43–48.
5. Жевора С. В. Экологическая адаптивность перспективных сортов отечественной селекции и экономическая оценка их возделывания // Земледелие. 2019. № 5. С. 30–35.
6. Дубовик Д. В., Чуян О. Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий // Земледелие. 2018. № 2. С. 9–13.
7. Строков А. С., Макаров О. А., Марахова Н. А., Поташников В. Ю. Влияние почвенно-климатических факторов на урожайность основных сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Белгородской области // Земледелие. 2019. № 6. С. 21–24.
8. Иванов А. И., Конашенков А. А. Снижение зависимости земледелия северо-запада России от погодно климатических аномалий: проблемы и решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 5. С. 32–37.
9. Кирюшин В. И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 3. С. 19–25.
10. Абашеев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Жук С. Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы Свеча // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 2 (57). С. 35–40.
11. Лекомцева Е. В. [и др.] Удобрение картофеля // Картофель и овощи. 2015. № 4. С. 34–35.
12. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Артемьев А. Е., Первушина Н. К., Лапушкина В. Н. Влияние удобрений и осушения на эффективность выращивания картофеля // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 5. С. 30–33.
13. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К., Лапушкина В. Н. Эффективность удобрений в зависимости от погодных условий при возделывании картофеля на осушаемых землях // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. No. 2. С. 17–20.
14. Котова З. П. [и др.] Удобрение картофеля на севере // Картофель и овощи. 2015. № 11. С. 31–32.
15. Pospíšil A., Pospíšil M., Švenčbir M. Influence of organic and mineral fertilizers on agronomic traits of potato // Poljoprivreda. 2017. No. 23. Pp. 11–16. DOI: 10.18047/polio.23.1.2.
16. El-Gizawy N. Effect of Organic, Inorganic and Nano Fertilizers on Agronomic Traits of Maize // Annals of Agricultural Science, Moshtohor. 2019. No. 57 (1). Pp. 11–20. DOI: 10.21608/assjm.2019.41877.
17. Elbl J. Use of organic-mineral fertilizers as alternative to conventional organic and mineral fertilizers: effect on soil quality // Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Sofia, Bulgaria, 2019. Pp. 583–590. DOI: 10.5593/sgem2019/3.2/s13.076.
18. Чеботарев Н. Т., Конкин П. И., Юдин А. А. Эффективность комплексного применения органических и минеральных удобрений в кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве севера // Аграрная наука. 2018. № 6. С. 56–59.
19. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. Москва, 1996. 365 с.
20. Румянцев В. И., Коптева З. Ф., Сурков Н. Н. Земледелие с основами почвоведения. Москва, 1979. 367 с.
21. Каюмов М. К. Программирование продуктивности полевых культур. Москва, 1989. 368 с.

Об авторах:

Лидия Ивановна Петрова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-6197-0831, AuthorID 695048; +7 920 688-97-55, 2016vniimz-noo@list.ru

Юрий Иванович Митрофанов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0994-6743, AuthorID 694907, +7 (4822) 37-80-96, mltrof4@yandex.ru

Максим Владимирович Гуляев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0001-5916-7778, AuthorID 695615; +7 920 024-10-43, maximilian550@rambler.ru

Наталья Константиновна Первушина¹, младший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0618-4405, AuthorID 1098786; +7 920 681-82-77, nperwuschina@yandex.ru

¹ ФИЦ «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», Москва, Россия

Influence of various factors on crop formation and potato quality

L. I. Petrova¹✉, Yu. I. Mitrofanov¹, M. V. Gulyaev¹, N. K. Pervushina¹

¹ Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

✉ E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Abstract. The purpose of the research was to study the effect of fertilizer rates depending on drainage and weather conditions on the yield and quality of potatoes, their payback with an increase in yield. **Methodology and methods of research.** The studies were conducted in a two-factor field experiment in 2012–2020, factor A – drainage (drained by closed potter drainage and non-drained soil), factor B – various fertilizer rates (without fertilizers; multi-purpose compost (KMN) 10 t/ha + K_{90} ; KMN 10 t/ha + $N_{70}K_{180}$). The soil of experimental plot of sod-podzolic light loamy are predominant, well-cultivated. Potatoes were cultivated according to the ridge technology developed at VNIIMZ, the predecessor of winter grain crops. According to weather conditions, the years of research are divided into excessively humid, humid and arid. Analyses and observations were carried out according to the generally accepted methods of experimental work, calculations using statistical analysis. **Results.** The tendencies of changes in the indicators of the water-air regime of the arable layer of soil (moisture, total porosity, porosity of aeration, bulk density) depending on drainage and weather conditions were revealed. The influence of fertilizer rates on drained and non-drained areas, depending on weather conditions, on the content of mineral nitrogen in the soil, yield and its structure, the quality of potato production (content of nitrates, starch in tubers), the use of photosynthetically active solar radiation, payback of fertilizers by an increase in yield has been established. The share of the influence of fertilizers and drainage on the variability of the yield in different weather conditions has been determined. **Scientific novelty.** The share of the participation of the studied factors in the variability of the potato yield and the rational rates of the use of fertilizers, depending on soil and weather conditions, have been established.

Keywords: potatoes, drainage, fertilizers, weather conditions, water-air and nutrient regimes, yield, product quality, return on fertilizers.

For citation: Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Gulyaev M. V., Pervushina N. K. Vliyanie razlichnykh faktorov na formirovanie urozhaya i kachestvo produktii kartofelya [Influence of various factors on crop formation and potato quality] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 04 (207). Pp. 34–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42. (In Russian.)

Paper submitted: 29.01.2021.

References

1. Yanko Yu. G., Petrushin A. F. O nekotorykh prichinakh pereuvlazhneniya i povtornogo zabolachivaniya sel'skokhozyaystvennykh zemel' v Leningradskoy oblasti // Melioration and Water Management. 2018. No. 4. Pp. 29–31. (In Russian.)
2. Makarycheva E. A., Ovchinnikova E. V. Opredelenie kriticheskoy glubiny zaleganiya gruntovykh vod na osushennykh zemlyakh [Determination of the critical depth of groundwater on drained land] // Melioration and Water Management. 2018. No. 5. Pp. 29–31. (In Russian.)
3. Lagutina T. B., Shalaginova L. N. Vliyanie raznykh vidov drenazhnykh sistem dlitel'nogo sroka ekspluatatsii na rezhim osusheniya poymennykh torfyanykh pochv [The impact of different types of drainage systems long service life the drainage of inundated peat soils] // Melioration and Water Management. 2016. No. 6. Pp. 42–47. (In Russian.)
4. Stashevski Z., Kuz'minova O. A., Vologin S. G., et al. Pervye rezul'taty ekologo-geograficheskogo ispytaniya novykh rossiyskikh sortov kartofelya [First results of ecological and geographical testing of new russian potato varieties] // Zemledelie. 2019. No. 6. Pp. 43–48. (In Russian.)
5. Zhevora S. V. Ekologicheskaya adaptivnost' perspektivnykh sortov otechestvennoy selektsii i ekonomicheskaya otsenka ikh vozdel'yvaniya [Environmental adaptability of russian promising potato varieties and economic evaluation of their cultivation] // Zemledelie. 2019. No. 5. Pp. 30–35. (In Russian.)
6. Dubovik D. V., Chuyan O. G. Kachestvo sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zavisimosti ot agrotekhnicheskikh priemov i klimaticheskikh usloviy [Quality of crops depending on agronomical practices and climatic conditions] // Zemledelie. 2018. No. 2. Pp. 9–13. (In Russian.)
7. Stokov A. S., Makarov O. A., Marakhova N. A., Potashnikov V. Yu. Vliyanie pochvenno-klimaticheskikh faktorov na urozhaynost' osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh kultur v munitsipalnykh rayonakh Belgorodskoy oblasti [Influence of soil and climatic factors on productivity of main agricultural crops in municipal districts of the Belgorod region] // Zemledelie. 2019. No. 6. Pp. 21–24. (In Russian.)
8. Ivanov A. I., Konashenkov A. A. Snizhenie zavisimosti zemledeliya severo-zapada Rossii ot pogodno klimaticheskikh anomalii: problemy i resheniya [Reduce the dependency of the agriculture of the north-west of russia from weather and climate anomalies: problems and solutions] // Melioration and Water Management. 2018. No. 5. Pp. 32–37. (In Russian.)

9. Kiryushin V. I. Mineral'nye udobreniya kak klyuchevoy faktor razvitiya sel'skogo khozyaystva i optimizatsii prirodoopol'zovaniya [Mineral fertilizers as the key factor of agriculture development and optimization of nature management] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2016. No. 3. Pp. 19–25. (In Russian.)
10. Abasheev V. D., Popov F. A., Noskova E. N., Zhuk S. N. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy Svecha [Influence of mineral fertilizers on productivity and grain quality in spring wheat Svecha] // Agricultural Science Euro-North-East. 2017. No. 2 (57). Pp. 35–40. (In Russian.)
11. Lekomtseva E. V., et al. Udobrenie kartofelya [Fertilizing of potato] // Potato and vegetables. 2015. No. 4. Pp. 34–35. (In Russian.)
12. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Artem'yev A. E., Pervushina N. K., Lapushkina V. N. Vliyaniye udobreniy i osusheniya na effektivnost' vyrashchivaniya kartofelya [Influence of fertilizers and draining on efficiency of potato production] // Melioration and Water Management. 2016. No. 5. Pp. 30–33. (In Russian.)
13. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K., Lapushkina V. N. Effektivnost' udobreniy v zavisimosti ot pogodnykh usloviy pri vozdeleyvanii kartofelya na osushayemykh zemlyakh [Fertilizes effectiveness depending on weather condition under potatoes cultivation on drained lands] // Vestnik of the Russian agricultural sciences. 2020. No. 2. Pp. 17–20. (In Russian.)
14. Kotova Z. P., et al. Udobrenie kartofelya na severe [Fertilizing of potato in the european north] // Potato and vegetables. 2015. No. 11. Pp. 31–32. (In Russian.)
15. Pospisil. A., Pospisil M., Švenčbir M. Influence of organic and mineral fertilizers on agronomic traits of potato // Poljoprivreda. 2017. No. 23. Pp. 11–16. DOI: 10.18047/polio.23.1.2.
16. El-Gizawy N. Effect of Organic, Inorganic and Nano Fertilizers on Agronomic Traits of Maize // Annals of Agricultural Science, Moshtohor. 2019. No. 57 (1). Pp. 11–20. DOI: 10.21608/assjm.2019.41877.
17. Elbl J. Use of organic-mineral fertilizers as alternanive to conventional organic and mineral fertilizers: effect on soil quality // Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Sofia, Bulgaria, 2019. Pp. 583–590. DOI: 10.5593/sgem2019/3.2/s13.076.
18. Chebotarev N. T., Konkin P. I., Yudin A. A. Effektivnost' kompleksnogo primeneniya organicheskikh i mineral'nykh udobreniy v kormovom sevooborote na dervovo-podzolistoy pochve severa [Efficiency of complex use of organic and mineral fertilizers in fodder crop rotation in sod-podzolic soil of the north] // Agrarian science. 2018. No. 6. Pp. 56–59. (In Russian.)
19. Kiryushin V. I. Ekologicheskie osnovy zemledeliya [Ecological foundations of agriculture]. Moscow, 1996. 365 p. (In Russian.)
20. Rumyantsev V. I., Kopteva Z. F., Surkov N. N. Zemledelie s osnovami pochvovedeniya [Agriculture with the basics of soil science]. Moscow, 1979. 367 p. (In Russian.)
21. Kayumov M. K. Programmirovaniye produktivnosti polevykh kul'tur [The programming productivity of field crops]. Moscow, 1989. 368 p. (In Russian.)

Authors' information:

Lidiya I. Petrova¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher, ORCID 0000-0002-6197-0831, AuthorID 69504; +7 920 688-97-55, 2016vniimz-noo@list.ru

Yuriy I. Mitrofanov¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher, ORCID 0000-0003-0994-6743, AuthorID 694907; +7 (4822) 378-096, mltrof4@yandex.ru

Maksim V. Gulyaev¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher, ORCID 0000-0001-5916-7778, AuthorID 695615; +7 920 024-10-43, maximilian550@rambler.ru

Natalya K. Pervushina¹, junior researcher, ORCID 0000-0003-0618-4405, AuthorID 1098786, +7 920 681-82-77, npervushina@yandex.ru

¹ Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia