

## **ТЕХНОЛОГИЯ КООРДИНАТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Петухов Д.А., Бондаренко Е.В., Иванов А.Б.**

Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса,  
г. Новокубанск, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлены результаты применения элементов технологии координатного земледелия, позволяющих оценивать урожайность в зонах плодородия и дифференцированно воздействовать на выявленную внутриполевою неоднородность поля, с целью повышения урожайности и экономической эффективности кукурузы на зерно, при возделывании её в производственных условиях.

**Ключевые слова.** Координатное земледелие, внутриполевая неоднородность, плодородие почвы, удобрения, дифференцированное внесение, карта-задание, кукуруза на зерно, урожайность, система картирования, экономическая эффективность.

## **COORDINATE FARMING TECHNOLOGY FOR THE CULTIVATION OF CORN FOR GRAIN IN PRODUCTION CONDITIONS**

**Petukhov D.A., Bondarenko E.V., Ivanov A.B.**

Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering Support of the Agro-Industrial Complex, Novokubansk, Russian Federation

**Abstract.** The article presents the results of using elements of coordinate farming technology that allow assessing productivity in fertility zones and differentially influencing the identified intra-field heterogeneity of the field, in order to increase the yield and economic efficiency of corn for grain, when it is cultivated in production conditions.

**Keywords.** Coordinate agriculture, intra-field heterogeneity, soil fertility, fertilizers, differentiated application, task map, corn for grain, yield, mapping system, economic efficiency.

**Постановка проблемы.** В настоящее время с развитием науки и техники в области сельского хозяйства разработка современных технологий возделывания с.-х. культур невозможна без применения системы координатного [1] (точного) земледелия, которое в числе прочего подразумевает и дифференцированное внесение удобрений. Основным принцип дифференцированного внесения – «необходимо и достаточно», т.е. необходимый минимум средств химизации для достижения экономически оправданного урожая. Поскольку плодородие различных частей поля не однородно, то можно предположить, что принцип «необходимо и достаточно» является суммой локальных оптимумов. Фактически ставится цель оптимального ведения растениеводства, что и позволяет сформулировать новый синоним координатного земледелия – «умное», которое должно быть основано на знаниях о плодородии почвы в разрезе его внутриполевой неоднородности.

Неоднородность плодородия почвы в пределах сельскохозяйственного поля может быть различной, как по рельефу (отдельных почвенных горизонтов и материнских пород), почвенному покрову (даже выровненное поле почти всегда имеет неодинаковую глубину пахотного горизонта на различных участках), агрохимическим и агрофизическим показателям, что обосновано естественными причинами и используемыми технологиями обработки почвы. Сглаживать данные естественные природные различия почвенного покрова обычно пытаются с помощью агротехнических мероприятий, например, внесения минеральных удобрений, тем самым, наслаивая на естественную неоднородность почвенного покрова, в пределах одного поля, искусственную неоднородность.

Одинаковое внесение удобрений при неоднородном составе питательных веществ в почве приводит к их локальной передозировке или недостаточности. Следовательно, удобрения необходимо вносить в соответствии с потребностями растений, что обеспечивает оптимальную эффективность их использования [2].

Также эффективность дифференцированного внесения удобрений, как известно, во многом зависит от внутриполевой неоднородности плодородия почвенно-земельного покрова. Большинство исследований по изучению эффективности дифференцированного внесения удобрений, как в нашей стране, так и за рубежом показали, что оно экономически не всегда оправдывается, т.к. не учитываются уровень и выраженность внутриполевой пестроты плодородия почвы [3].

Исследования по изучению влияния внутриполевой неоднородности на урожайность сельскохозяйственных культур приобретают особенное значение с применением элементов технологий точного земледелия, т.к. получаемые результаты, как правило, свидетельствуют об эффективности использования высокоинтенсивных агротехнологий в условиях неоднородности [4, 5].

Начиная с 2015 г. на полях валидационного полигона Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ) проводятся исследования элементов технологий точного земледелия, позволяющие сократить трудоемкость выполнения технологических операций, проводить оперативный мониторинг за состоянием посевов, оценивать зоны плодородия и дифференцированно воздействовать на выявленную внутриполевую неоднородность полей [6].

В 2019 г. в рамках НИР были проведены исследования технологии координатного земледелия с дифференцированным внесением удобрений и картированием урожайности кукурузы на зерно в производственных условиях.

В крупномасштабных полевых опытах, особенно производственных, варьирование параметров плодородия опытного участка может оказаться существенным фактором, влияющим на неоднородность урожайности сельскохозяйственных культур в пределах делянок [7].

**Цель исследования** – оценка урожайности и определение максимального дохода в зонах с высоким и низким относительными уровнями почвенного плодородия при дифференцированном внесении минеральных удобрений на подкормке кукурузы на зерно.

**Материалы и методы исследования.** При проведении исследования в качестве основных методов послужили: анализ научно-технической литературы и публикаций; метод ретроспективного мониторинга с использованием десятков разновременных данных дистанционного зондирования поля; методика полевого опыта, которая предусматривала дифференцированное внесение удобрений различными дозами по зонам плодородия и уборку урожая с последующим составлением цифровых карт урожайности.

Для решения поставленной цели, с помощью метода ретроспективного мониторинга, была создана электронная карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия на поле XI-1 валидационного полигона КубНИИТиМ (рис. 1), на основе которой разработали цифровую карту-задание для закладки полевого опыта по дифференцированному внесению минеральных удобрений на подкормке кукурузы на зерно.

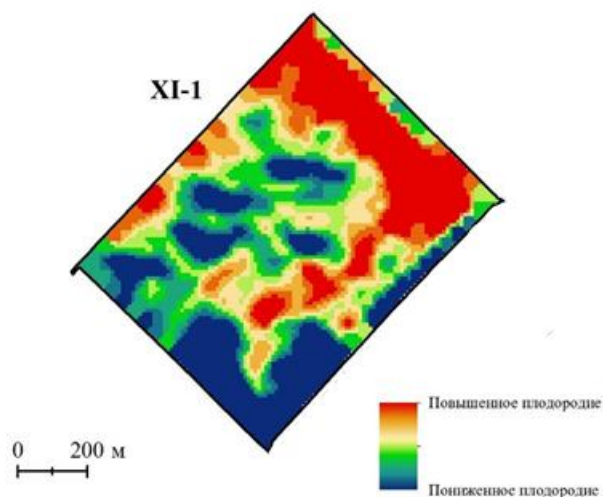


Рисунок 1 - Карта устойчивой внутриполевой неоднородности опытного поля XI-1 валидационного полигона КубНИИТиМ

Анализ публикаций показал, что карты устойчивой внутриполевой неоднородности, полученные по технологии ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова с использованием десятков разновременных данных дистанционного зондирования (ДДЗ) со спутников Landsat и Sentinel являются самыми информативными картами для целей координатного земледелия [8].

Как правило, ДДЗ используются для вычисления простейших вегетационных индексов, самым распространенным из которых является вегетационный индекс NDVI. Множество попыток использовать

текущий NDVI для формирования карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений особого успеха не имели, и NDVI в основном используется для простейшего мониторинга по ДДЗ [9].

Сложность использования вегетационного индекса для выдачи рекомендаций по дифференцированной обработке полей связана также с проблемами нормализации кадров данных дистанционного зондирования, полученных в разных условиях съемки, и высокой динамичностью состояния с.-х. культур в течение одного вегетационного периода и по годам [10]. Для компенсации недостатков работы с ДДЗ применяют технологию ретроспективного мониторинга, которая разработана на принципах спектральной окрестности линии почв [11].

Полевые исследования по дифференцированному внесению гранулированных минеральных удобрений на подкормке кукурузы на зерно (гибрид «НК Термо») проводились на опытном поле XI-1. Поверхностное внесение аммиачной селитры под довсходовое боронование кукурузы на зерно было проведено 13 апреля агрегатом Беларусь 1025.2+Bogballe M2, оборудованным отечественным навигационным комплексом «Агронавигатор-Асур-Дозатор», ООО «Системы точного земледелия», г. Новосибирск, с дозами внесения согласно карты-задания.

Карта-задание предусматривала внесение различных доз удобрений по участкам как в зонах с высоким, так и с низким уровнями плодородия. Из карты устойчивой внутривидовой неоднородности опытного поля XI-1 видно, что на поле расположение зон плодородия носит случайный характер. Зоны с высоким уровнем плодородия занимают до 60 % от площади поля, оставшиеся 40 % площади, занимают зоны с низким уровнем плодородия, это составляет 45 и 30 га соответственно.

Контрольные участки имели сплошное расположение по зонам с ярко выраженным однородным низким и высоким уровнями плодородия перпендикулярно к направлению движения разбрасывателя, что позволило обеспечить точность внесения заданной дозы удобрений в границах каждого участка. Дозы в физическом весе составили 50, 100, 150, 200, 250 кг/га.

Результаты эксплуатационно-технологической оценки показали, что производительность агрегата за 1 ч времени смены составила – 25 га/ч, что на 6 % выше производительности агрегата, не оборудованного навигационным комплексом. Использование навигационного комплекса на агрегате Беларусь 1025.2+Bogballe M2 позволило за счет параллельного вождения исключить на дифференцированном внесении удобрений работу двух сигнальщиков.

Уборку кукурузы на опытных участках провели с 3 по 5 сентября зерноуборочным комбайном Десна-Полесье GS-12, оборудованным системой картирования урожайности Trimble YМ, США (рис. 2).

Применение системы картирования урожайности позволило получить точные данные об урожайности и влажности зерна сразу после уборки, расхождение между показаниями системы по параметру массы убранный зерна не превышали 1,5 %, а по влажности зерна – 0,1 %.



Рисунок 2 - Монитор ТМХ-2050 системы картирования урожайности Trimble YМ, установленный в кабине зерноуборочного комбайна Десна-Полесье GS-12

Параметры растений кукурузы на зерно представлены в таблице 1.

Результаты опытов показали, что увеличение урожайности зерна кукурузы на килограмм внесенного удобрения (отзывчивость на удобрение) оказалось разным для каждой из зон. В зоне низкого плодородия при увеличении дозы удобрений с 50 до 250 кг/га прибавка урожайности составила 2,16 ц/га. В зоне высокого плодородия отмечена высокая отзывчивость растений кукурузы на азотные удобрения (рис. 3). При увеличении дозы удобрений с 50 до 250 кг/га прибавка урожайности зерна кукурузы составила 20,65 ц/га.

По результатам исследований установлено, что самый высокий показатель урожайности кукурузы на зерно – 86,99 ц/га получен в зоне с высоким уровнем плодородия при дозе внесения аммиачной селитры – 250 кг/га. В зоне с низким уровнем плодородия высокая урожайность – 62,78 ц/га

получена при дозе внесения – 100 кг/га. Следовательно, в зонах с низким уровнем плодородия неэффективно применять увеличенные дозы удобрений, а рекомендуется в этих зонах вносить удобрения с низкими дозами, а часть удобрений перераспределять в зоны с высокими уровнями плодородия.

Экономическая эффективность каждой дозы удобрений рассчитана в сравнении с минимальной дозой 50 кг/га, поэтому на графике расчет дополнительного дохода приведен начиная с дозы в 100 кг/га (рис. 4). При расчетах стоимость 1 кг зерна кукурузы была принята 10 р. 50 к.

Таблица 1 - Параметры растений кукурузы на зерно в различных зонах плодородия на поле XI-1

№ участка	Зона плодородия	Доза внесения удобрений, кг/га	Средняя длина початка, см	Средний диаметр початка, мм	Влажность зерна, %	Урожайность, ц/га
1	низкая	50	14,0	40,7	14,5	60,05
2		100	13,5	41,3	13,2	62,78
3		150	13,9	41,4	14,0	62,50
4		200	14,1	40,9	13,3	61,40
5		250	13,9	41,7	12,0	62,21
6	высокая	50	14,7	44,1	15,1	66,34
7		100	15,1	43,6	14,4	69,28
8		150	15,0	43,7	13,2	79,73
9		200	14,8	44,2	14,2	84,40
10		250	15,1	46,5	14,6	86,99

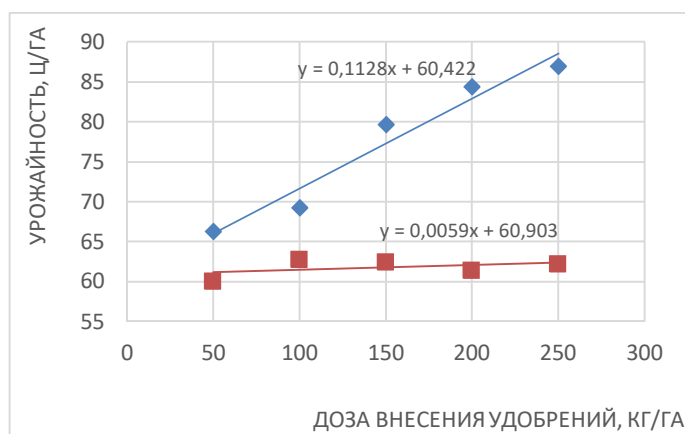


Рисунок 3 - Зависимость урожайности зерна кукурузы от доз внесения удобрений по зонам плодородия на поле XI-1

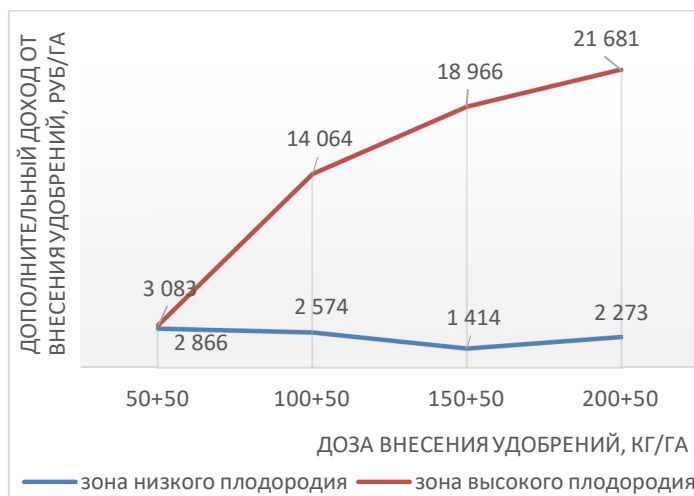


Рисунок 4 - Дополнительный доход от внесения удобрений по зонам плодородия на поле XI-1

Максимальный доход от внесения минеральных удобрений под кукурузу на зерно в размере – 21681 руб./га был получен на опытном поле в зоне с высоким уровнем плодородия при общей дозе –

250 кг/га, при этой же дозе внесения в зоне с низким уровнем плодородия дополнительный доход составил всего лишь – 2273 руб./га.

#### **Выводы.**

1. Для повышения экономической эффективности возделывания кукурузы на зерно на отдельных участках поля необходимо проводить дифференцированное внесение удобрений с учетом зон плодородия, установленных согласно карты устойчивой внутриполевой неоднородности.

2. Установлено, что на основе карты устойчивой внутриполевой неоднородности почвенного покрова можно увеличить эффективность применения азотных удобрений, т.е. увеличить валовые сборы зерна без увеличения затрат на сельскохозяйственное производство.

3. Применение навигационного комплекса «Агронавигатор-Асур-Дозатор» позволило дифференцированно заложить опыты по внесению минеральных удобрений на подкормке кукурузы на зерно по картам-заданиям и повысить производительность агрегата на 6 %, а также исключить работу двух сигнальщиков.

4. Использование системы картирования урожайности Trimble YM на уборке кукурузы на зерно позволило получить точные данные об урожайности и влажности зерна, при расхождении между показаниями массы убранного зерна – 1,5 % и влажности зерна – 0,1 %.

5. С целью дальнейшего освоения и внедрения технологий координатного земледелия данную работу необходимо продолжить для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений на основе цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений.

#### **Список использованных источников**

1. ГОСТ Р 56084-2014 Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения – М.: Стандартинформ, 2014. – 7 с.

2. Беленков А.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Мазиров М.А. Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. – 2011. – вып. 6 – С. 90-100.

3. Афанасьев Р.А., Беленков А.И. Внутрипольная вариабельность // Фермер. – 2016. – № 4 – С. 36-40.

4. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Петухов Д.А., Трубников А.В., Семизоров С.А. Технология точного земледелия: дифференцированное внесение удобрений с учетом внутриполевой неоднородности почвенно-земельного покрова / Техника и оборудование для села – № 2-2019. – С. 2-8.

5. Рухович А.Д., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Петухов Д.А., Рухович Д.И. Сравнительный анализ информативности вегетационных индексов и измерений урожайности сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия / XIX Междунар. науч.-междисциплинар. конф. SGEM Geo & Экспо 2019 (28 июня – 7 июля). – Болгария, Албена: SGEM Organizing Team, 2019. – С. 501-508.

6. Петухов Д.А., Марченко В.О., Бондаренко Е.В. Элементы технологий точного земледелия, испытанные в условиях тестового полигона // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2018». Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем. Новосибирская обл., р.п. Краснообск, 2018: Информационные технологии, системы и приборы в АПК. С. 437-443.

7. Витковская С.Е. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. – СПб: АФИ, 2011. – 52 с.

8. Федоренко В.Ф., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Трубников А.В., Мишуров Н.П. Оценка внутриполевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 9 – С. 2-6.

9. Рухович Д.И. Принципы организации проблемно-ориентированной системы ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова на основе дистанционного зондирования Земли // Информация и космос. – 2016. – № 3 – С. 108-123.

10. Рухович Д.И., Шаповалов Д.А. Исследование долгосрочной локальной изменчивости земельного покрова методом ретроспективного мониторинга // Московский экономический журнал. – 2016. – № 3 – С. 6.

11. Куляница А.Л., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Королева П.В., Рухович Д.И., Симакова М.С. Применение кусочно-линейной аппроксимации спектральной окрестности линии почв для анализа качества нормализации материалов дистанционного зондирования // Почвоведение. 2017. – № 4. – С. 201-410.

Работа выполнена в рамках тематического плана НИОКТР (ФГБНУ «Росинформагротех») на 2019 г. по государственному заданию Минсельхоза России № 082-00060-19-03.