

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

D.I. Eryomin, Yu. P. Kibuk

DIFFERENTIATED APPLICATION OF FERTILIZERS AS AN INNOVATIVE APPROACH IN THE SYSTEM OF PRECISION FARMING

Ерёмин Д.И. – д-р биол. наук, проф. каф. почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: kibuk_y@mail.ru

Кибук Ю.П. – магистрант каф. почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: kibuk_y@mail.ru

Eryomin D.I. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, State Agricultural University of Northern Trans-Urals, Tyumen. E-mail: kibuk_y@mail.ru

Kibuk Yu.P. – Magistrate Student, Chair of Soil Science and Agrochemistry, State Agricultural University of Northern Trans-Urals, Tyumen. E-mail: kibuk_y@mail.ru

С появлением спутниковой навигации и мощных компьютеров на сельскохозяйственных предприятиях появилась возможность при внесении удобрений учитывать пространственную неоднородность плодородия полей Западной Сибири. Цель – изучение содержания нитратного азота в пахотном черноземе при использовании дифференцированного внесения удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы. Опыты проводились в лесостепной зоне Зауралья на поле с сильно выраженной по плодородию пространственной неоднородностью. Содержание нитратов в слое 0–40 см перед посевом зерновых культур варьировало в пределах 7–20 мг/кг, коэффициент вариации составил 26 %. Было установлено, что внесение усредненной дозы удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна яровой пшеницы увеличивает неоднородность поля по содержанию нитратов, что приводит к формированию урожая от 2,4 до 3,1 т/га. Дифференцированное внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га в режиме «off line» уменьшает и поддерживает в течение всей вегетации выравнивание поля по содержанию нитратного азота. Коэффициент пространственной неоднородности к моменту кущения уменьшился с 35 до 25 %, а к уборке зерновых достиг минимальных значений по опыту – 9 %, что соответствовало незначительному варьированию. Дальнейшее

повышение доз минеральных удобрений привело к появлению элементарных участков с резко отличающимися свойствами. Установлено, что для расчета доз удобрений при дифференцированном внесении удобрений использования данных только по нитратному азоту недостаточно.

Ключевые слова: космические системы земледелия, точное земледелие, дифференцированное внесение удобрений, пространственная неоднородность плодородия, коэффициент вариации, статистическая обработка, нитратный режим.

With the appearance of satellite navigation and powerful computers at agricultural enterprises there is the opportunity using fertilization to account for spatial heterogeneity of fertility of fields in Western Siberia. The aim of the research was to study the content of nitrate nitrogen in arable chernozom when using the targeted application of fertilizers on the planned yield of spring wheat. The experiments were conducted in the forest-steppe zone of the Trans-Urals on the field with strongly expressed in fertility of the spatial heterogeneity. The nitrate content in the 0–40 cm layer before sowing of grain crops varied in the range of 7–20 mg/kg, the coefficient of variation was 26 %. It was found out that making the average doses of fertilizers on the planned yield of 3.0 t/hectare of spring wheat grain increased the heterogeneity of the field of nitrates.

This led to the formation of the harvest from 2.4 to 3.1 t/hectare within the same field. Differentiated application of fertilizers on the planned yield of 3.0 t/hectare in the "off line" reduces and supports throughout the growing season the uniformity of the field on the content of nitrate nitrogen. The coefficient of spatial heterogeneity by the time of tilling decreased from 35 to 25 %, and the grain harvest reached a minimum value the experience of 9 %, which is consistent with minor variation. Further increase of doses of mineral fertilizers led to the emergence in the field of elementary sections with markedly different properties. It was established that for the calculation of doses of fertilizers when using differential fertilizer use data for nitrate nitrogen is not enough.

Keywords: *space agriculture; precision agriculture; differentiated application of fertilizers; spatial heterogeneity of fertility; coefficient of variation; statistical analysis; nitrate mode.*

Введение. Основой научной системы земледелия всегда было и будет использование новейших разработок ученых. Именно благодаря их достижениям стало возможным развитие сельского хозяйства в Сибири. Опираясь на ранее накопленный опыт и используя биотехнологию в селекции, были созданы современные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур, способные не только успешно расти в условиях холодного климата, но и давать урожай соответствующего качества [1–3]. Переход на рыночную экономику поставил перед учеными новую цель и сопутствующие для ее достижения задачи. Прежде всего стал наиболее актуальным вопрос поиска путей снижения производственных затрат и уменьшения себестоимости при неизменном сохранении качества сельскохозяйственной продукции и плодородия почв [4].

Для увеличения продуктивности пашни аграрии начали использовать весь комплекс агрохимикатов, начиная от минеральных удобрений и заканчивая интегрированной системой защиты от сорняков, болезней и вредителей. В таких условиях часто происходит нарушение почвообразовательного процесса, выражаемое в ухудшении гумусного и структурно-агрегатного состояния пахотных почв [5–8]. Поэтому разработка системы точного земледелия, обеспечивающая получение экономически оправданного

урожая и воспроизводство плодородия, стала актуальной не только для Сибири, но и во всем мире.

Появление новых технологий учета урожая и мониторинга плодородия пашни позволило выявить одну из проблем земледелия. Было установлено, что на разных участках одного поля формируется урожай различной величины и качества при равных дозах удобрений и единой системе обработки почвы. Причиной этого является генетическая особенность почвенного покрова Сибири, характеризующаяся неоднородным плодородием в пределах небольшого участка, многократно усиленная антропогенным фактором [9–11].

Для решения этой проблемы потребовалось не одно десятилетие, поскольку без развития космических и компьютерных технологий, постепенно проникающих в сельское хозяйство, это было сделать довольно затруднительно. В настоящее время во всех странах идет активная научная работа и внедрение разработанных технологий использования космических систем в сельском хозяйстве, и научная школа Н.В. Абрамова занимает лидирующие позиции в этом направлении.

Разрабатывая систему дифференцированного внесения удобрений на сибирских полях, ученые столкнулись с определенными проблемами, которые необходимо было детально изучить и оптимизировать систему удобрений с учетом полученных знаний в области пространственной неоднородности плодородия полей.

Цель исследований. Изучение изменения содержания нитратного азота в пахотном черноземе при использовании дифференцированного внесения удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы.

Условия и методы исследований. Черноземные почвы Северного Зауралья характеризуются крайне неустойчивым азотным режимом, который оказывает непосредственное влияние на урожайность зерновых культур [12–14]. Было принято решение провести исследование по оптимизации азотного питания. Для этого был подобран участок с содержанием подвижного фосфора и калия, достаточным для получения планируемых урожаев за счет внесения только азотных удобрений.

Исследования проводились на территории ФГУП «Учхоз», расположенного в Тюменском районе. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, сформировавшийся на покровных суглинках. По своим морфогенетическим свойствам типичен для лесостепной зоны Зауралья. Характер вертикального распределения гумуса резко убывающий, что свойственно черноземам Западной Сибири. Содержание гумуса в пахотном слое (0–30 см) варьирует от 7,65 до 9,05 %, глубже – снижается с 4,41 до 0,72–0,54 %. Запасы гумуса в метровом слое составляют 435–440 т/га. Валовое содержание азота в пахотном слое составляет 0,43–0,44 %, в слое 30–50 см – 0,18–0,21 %, что указывает на резкую дифференциацию профиля по данному показателю. Запасы валового азота в слое 0–50 см составляют 19–20 т/га. Содержание валового фосфора в пахотном слое достигает 0,16–0,18 %, в более глубоких слоях данный показатель резко снижается. Общие запасы данного элемента питания в слое 0–50 см достигают 8,0–8,5 т/га.

Опыт предусматривал следующие варианты:

1. Контроль (без внесения минеральных удобрений).

2. Традиционный способ внесения средней нормы аммиачной селитры на поле из расчета на планируемую урожайность 3,0 т/га.

3. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га.

4. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га.

5. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на запланированную урожайность 4,0 т/га + подкормка в фазу кущения в дозе N_{30} кг д.в./га.

Аналитические работы выполнялись в лаборатории кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья согласно ГОСТам и общепринятым методикам. Содержание в почве нитратного азота определялось дисульфифеноловым методом. Статистическая обработка результатов была проведена с помощью программного продукта Microsoft Excel. Были рассчитаны: размах вариации (R) – разница между

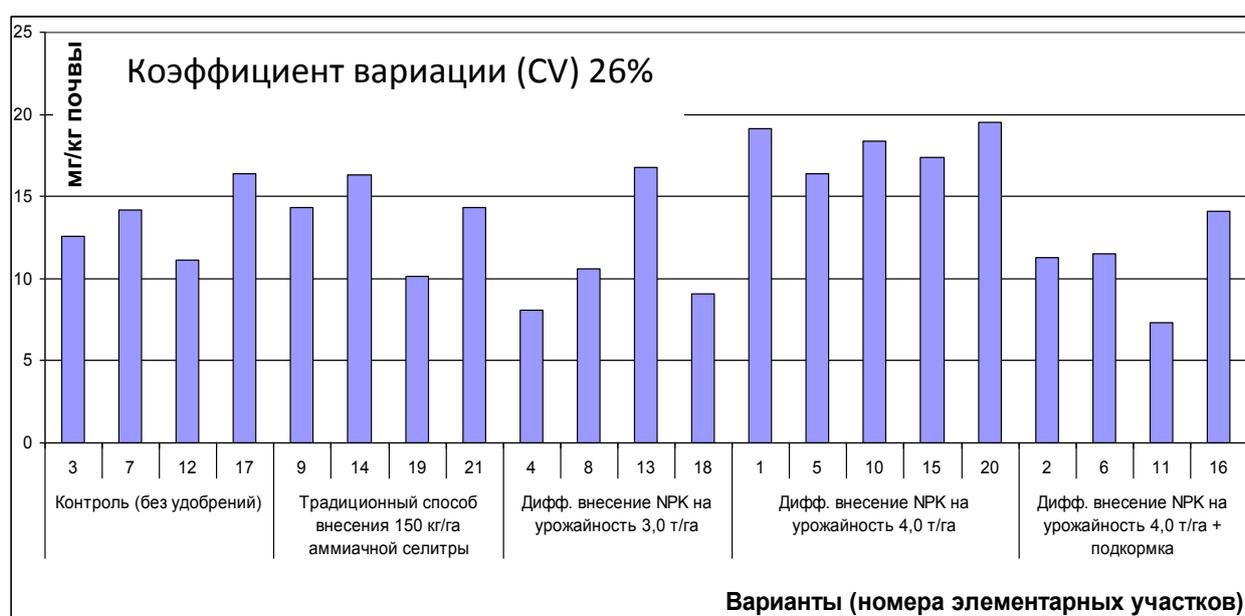
максимальными и минимальными значениями; коэффициент вариации (CV), показывающий степень неоднородности плодородия.

Основная обработка почвы проводилась осенью после уборки предшествующей культуры плугом ПН-8-35 на глубину 20–25 см. Весной, при наступлении физической спелости почвы, поле боронили в два следа зубowymi боронами 22БЗСС-1,0. Высевали яровую пшеницу в оптимальный для лесостепной зоны срок (15–20 мая) на глубину 5–6 см посевным комплексом John Deere 730, с нормой посева 6,2 млн всхожих семян на гектар.

Расчет доз минеральных удобрений проводили балансовым методом с учетом содержания элементов питания в почве перед посевом по каждому элементарному участку площадью 2 гектара. Минеральные удобрения вносились из расчета на планируемую урожайность яровой пшеницы по элементарным участкам. Технология дифференцированного внесения минеральных удобрений по элементарным участкам подробно описана в работе Н.В. Абрамова, С.А. Семизорова и С.В. Шерстобитова [15].

Результаты исследований. Почвенный покров Северного Зауралья характеризуется пестротой и комплексностью. Причин этого довольно много, начиная от особенностей сложения почвообразующих пород и заканчивая антропогенным фактором. Почвенная неоднородность обусловлена не только различными типами, видами и разновидностями почв, но и серьезным варьированием плодородия из-за особенностей рельефа; наличия рядом с полями лесных массивов и неравномерного внесения минеральных и органических удобрений. Как показывают исследования кафедры почвоведения и агрохимии, практически на любом поле можно встретить участки с низким или, наоборот, очень высоким содержанием гумуса и питательных веществ.

Перед закладкой опыта был проведен анализ элементарных участков по содержанию нитратного азота. Как показали исследования, стационар характеризовался очень высокой степенью неоднородности по содержанию нитратного азота – коэффициент вариации составил 26 % (рис.).



Содержание нитратного азота в слое 0–40 см пахотного чернозема выщелоченного перед внесением удобрений, мг/кг почвы

Минимальное содержание было отмечено на участке № 11 – 7,3 мг/кг почвы, максимальное (19,5 мг/кг почвы) – на участке № 20. Учитывая, что в условиях Северного Зауралья азот находится в первом минимуме, столь большой разброс значений его содержания приведет к формированию урожая зерновых культур на элементарных участках, отличающегося от средней величины по полю и неравномерному созреванию.

Перед посевом яровой пшеницы среднее содержание нитратного азота на контроле составило 14 мг/кг почвы. Были зарегистрированы минимум и максимум (соответственно 11 и 16 мг/кг почвы), размах вариации составил 5 мг (табл.1). Степень варьирования содержания нитратного азота на контроле перед посевом яровой пшеницы составляла 17 %, что соответствовало среднему уровню пространственной неоднородности. Аналогичным контролю по содержанию нитратов оказался вариант, где планировалось внесение удобрений на урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га. Несмотря на одинаковые значения минимума и максимума, коэффициент вариации также соответствовал средней степени варьирования.

На участке, где планировалось внесение минеральных удобрений дифференцированным

способом на планируемую урожайность 3,0 т/га, почвенная неоднородность по нитратному азоту была максимальной в опыте – коэффициент вариации составил 35 %, а размах варьирования достигал 9 мг/кг почвы. Среднее содержание нитратов составляло 11 мг/кг почвы. Столь сильные отклонения от средней величины являются наиболее интересными, поскольку именно этот вариант по рабочей гипотезе должен оказаться выравненным по минеральному питанию за счет внесения удобрений.

Вариант, где будут вноситься удобрения дифференцированным способом на планируемую урожайность 4,0 т/га, оказался с минимальными отклонениями – размах вариации составил 3 мг, а коэффициент вариации 7 %, что соответствовало незначительной вариации. Этот же вариант соответствовал высокой степени обеспеченности нитратами. На аналогичном варианте, где дополнительно будет проведена подкормка (вариант № 5), среднее содержание нитратов в слое 0–40 см составило 11 мг/кг почвы. Разница между минимумом и максимумом составила 7 мг при коэффициенте вариации 26 %, что указывает на значительную степень почвенной неоднородности по нитратному азоту.

**Статистический анализ почвенной неоднородности по нитратному азоту в слое 0–40 см
чернозема выщелоченного**

| Вариант | Перед посевом | | | Кущение | | | Перед уборкой | | |
|--|---------------|---|----|---------|----|----|---------------|----|----|
| | Хср. | R | CV | Хср. | R | CV | Хср. | R | CV |
| Контроль (без удобрений) | 14 | 5 | 17 | 9 | 10 | 54 | 8 | 5 | 27 |
| Традиционный способ (средняя доза по варианту) | 14 | 6 | 19 | 10 | 17 | 69 | 11 | 8 | 38 |
| Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га | 11 | 9 | 35 | 12 | 7 | 25 | 11 | 2 | 9 |
| Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га | 18 | 3 | 7 | 13 | 11 | 34 | 14 | 8 | 23 |
| Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га подкормка | 11 | 7 | 26 | 11 | 12 | 52 | 15 | 10 | 30 |

Примечание. Хср. – среднее содержание подвижного фосфора по варианту, мг/кг; R – размах вариации, мг/кг; CV – коэффициент вариации, %.

После расчета необходимых для получения планируемой урожайности 3,0 и 4,0 т/га питательных веществ на каждом элементарном участке были внесены в соответствующих дозах минеральные удобрения. К моменту кущения яровой пшеницы содержание нитратного азота изменилось. На контроле средняя величина содержания N-NO₃ уменьшилась до 9,0 мг/кг почвы. Минимальные и максимальные значения по элементарным участкам составили 6 и 17 мг при размахе вариации 10 мг/кг почвы. Коэффициент изменчивости с момента посева до кущения увеличился более чем в три раза и достиг 54 %. Столь сильное изменение содержания нитратов на варианте, где минеральные удобрения не вносились, объясняется различными условиями нитрификации вследствие изменчивости рельефа, влияющего на прогревание и увлажнение почвы. Также, по данным учхоза, часть элементарных участков оказалась на территории, где вносились органические удобрения. Такое значительное варьирование является убедительным доказательством проявления почвенной неоднородности полей Зауралья, сформировавшейся за счет природных и антропогенных факторов почвообразования.

Внесение минеральных удобрений, рассчитанных по усредненному содержанию нитратов

на планируемую урожайность 3,0 т/га (2-й вариант), привело к ухудшению ситуации. Минимальное и максимальное содержание нитратов в кущение яровой пшеницы составило 4 и 21 мг/кг соответственно – размах вариации увеличился почти в три раза, достигнув 17 мг/кг почвы. Столь серьезное увеличение объясняется совокупностью стимулирующего действия азотных удобрений на почвенную микрофлору и природных факторов, влияющих на перераспределение нитратов в почве. Коэффициент вариации увеличился до 69 %, что соответствовало проявлению значительной неоднородности почвы по обеспеченности ее нитратами. Столь существенное изменение не могло не оказать влияния на формирование урожая яровой пшеницы, серьезно отличающегося по элементарным участкам.

Внесение удобрений на ту же планируемую урожайность пшеницы (3,0 т/га), но уже с учетом содержания в почве нитратов на каждом элементарном участке (3-й вариант), оказало благоприятное влияние на выравнивание поля по азоту. Разница между минимумом и максимумом его содержания составила 25 мг/кг, что почти в три раза ниже варианта, где вносились удобрения традиционным способом. Среднее содержание нитратов по варианту составило

12 мг/кг. Отсутствие разницы относительно значений перед посевом обусловлено частичным потреблением азота растениями яровой пшеницы и перераспределением дозы удобрений по элементарным участкам. Этот вариант убедительно доказывает эффективность применения дифференцированного внесения удобрений, обеспечивающего выравнивание поля по нитратному азоту, поскольку коэффициент вариации уменьшился с 35 до 25 %. При отработке технологии можно будет добиться еще большей выравненности полей по плодородию и, соответственно, по урожайности зерновых культур.

Повышение дозы удобрений, обеспечивающей получение планируемой урожайности 4,0 т/га зерна, привело к нескольким неожиданным результатам – эффект был диаметрально противоположным относительно предыдущего варианта. Прежде всего, это выразилось увеличением размаха вариации по содержанию нитратов в почве с 3 до 11 мг/кг. Ранее выравненный по нитратному азоту участок к моменту кущения оказался совершенно неоднородным после внесения удобрений – коэффициент вариации достиг 34 %, что почти в 5 раз выше предыдущего значения. Столь сильный эффект обусловлен усилением микробиологической активности под действием высоких доз удобрений на отдельных элементарных участках, способствующей накоплению дополнительного азота текущей нитрификации. На отдельных элементарных участках доза азотных удобрений составляла 15 кг д.в./га, тогда как на других она была выше в несколько раз. Также нужно помнить, что на стационаре ранее вносился навоз, усиливающий различие почвенного плодородия, поэтому использование на таких участках высоких доз азотных удобрений может спровоцировать усиление минерализации органического вещества, влияющей на нитратный режим почвы.

Дробление нормы удобрений на основную дозу и подкормку (5-й вариант) не привело к выравниванию поля по доступному для растений азоту. Несмотря на то, что размах вариации относительно предыдущего варианта увеличился незначительно (с 7 до 12 мг/кг), коэффициент вариации был сопоставим с контролем – 52 %, что переводило вариант в категорию сильно неоднородных полей по почвенному плодородию.

К уборке яровой пшеницы среднее содержание нитратного азота по вариантам не претерпело серьезного изменения. На контроле этот показатель составил 8 мг с отклонениями от 5 до 11 мг/кг почвы. Размах и коэффициент вариации уменьшились в 2 раза относительно фазы кущения, достигнув 5 мг/кг и 27 % соответственно. Это по-прежнему характеризовало поле по плодородию как неоднородное. На варианте с традиционным внесением удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га уменьшение показателей неоднородности поля было сопоставимо с контролем – коэффициент вариации снизился с 69 до 38 %, диапазон крайних значений был от 7 до 16 мг/кг почвы. Частичное выравнивание поля по содержанию нитратного азота обусловлено его потреблением яровой пшеницей.

Дифференцированное внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна оказало благоприятное влияние на выравненность поля в конце вегетации – коэффициент вариации был минимален по всем вариантам и составил 9 %, что соответствовало незначительной почвенной неоднородности по нитратному азоту. Размах вариации уменьшился до 2 мг/кг почвы.

Варианты с дифференцированным внесением удобрений на 4,0 т/га, благодаря формированию более высоких урожаев по элементарным участкам, также уменьшили свои статистические показатели пространственной неоднородности плодородия – коэффициент вариации составил 23 и 30 % соответственно. Необходимо учитывать факт того, что уменьшение было относительно фазы кущения. Если же сравнивать с тем, что было перед внесением удобрений, то эффективность дифференцированного внесения удобрений на планируемую урожайность 4,0 тонны остается весьма сомнительной.

Причину этого мы видим в недостаточной информативности содержания нитратного азота в ту или иную фазу развития зерновых культур. Как показали ранее проведенные исследования Ю.И. Ермохина и его учеников, содержание нитратов в почве не отражает полной картины азотного режима почв, особенно в Западной Сибири. Причинами этого являются неустойчивый температурный режим, влияющий на активность почвенной микрофлоры, а также пе-

риодически промывной тип водного режима, вызывающий миграционные процессы нитратов по почвенному профилю. Также нужно учитывать и стимулирующее действие минеральных удобрений на почвенную микрофлору, особенно на низко обеспеченных нитратным азотом элементарных участках, поскольку именно там будет проявляться максимальный стимулирующий эффект.

Наличие величины отклонения урожайности сельскохозяйственных культур от средних значений является убедительным доказательством почвенной неоднородности наших полей. Положительный эффект дифференцированного внесения удобрений должен проявиться в выравнивании урожайности по элементарным участкам. Для этого мы провели статистический анализ урожайности яровой пшеницы. Отсутствие удобрений позволило получить нам среднюю по варианту урожайность яровой пшеницы 2,85 т/га. Этот урожай формировался непосредственно за счет естественного азота текущей нитрификации, величина которого варьирует в пределах от 40 до 100 кг/га на черноземных

почвах Северного Зауралья [16]. Анализ по элементарным участкам показал, что урожайность яровой пшеницы варьирует в пределах от 2,40 до 3,10 т/га (табл. 2). Коэффициент неоднородности составляет 10,9 %, что соответствует средней степени варьирования. Внесение удобрений традиционным способом (средняя доза по полю) на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна привело к повышению сбора зерна в среднем до 4,53 т/га, а на отдельных элементарных участках достигала 4,9 тонн. Столь сильное отклонение от «плана» обусловлено тем, что расчет проводился без учета почвенной неоднородности и потенциального плодородия каждого элементарного участка. Также нельзя отбрасывать эффект завышенной дозы, поскольку отсутствуют правильно подобранные коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений. Доказательством является получение минимальной урожайности 3,8 т/га, что превышает более чем на 25 % ожидаемый урожай. Коэффициент вариации урожайности на варианте № 2 не отличался от контроля.

Таблица 2

Статистический анализ урожайности яровой пшеницы при использовании дифференцированного внесения минеральных удобрений

| Вариант | Урожайность, т/га | | | Коэффициент вариации, % | Размах вариации, т/га |
|---|-------------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|
| | Минимум | Максимум | Среднее | | |
| Контроль (без удобрений) | 2,40 | 3,10 | 2,85 | 10,9 | 0,7 |
| Традиционный способ (средняя доза по варианту) | 3,80 | 4,90 | 4,53 | 11,0 | 1,1 |
| Дифференцированный на планируемую урожайность 3,0 т/га | 3,00 | 4,60 | 3,83 | 19,6 | 1,6 |
| Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га | 3,10 | 3,90 | 3,64 | 8,6 | 0,8 |
| Дифференцированный на планируемую урожайность 4,0 т/га, подкормка | 3,00 | 3,90 | 3,23 | 17,2 | 0,9 |

Дифференцированное внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га привело к уменьшению сбора зерна. Средняя урожайность

составила 3,83 т/га, что на 15 % меньше варианта с традиционным способом внесения удобрений. Однако ожидаемого эффекта выравни-

вания мы не обнаружили – урожайность по элементарным участкам была в пределах от 3,0 до 4,6 т/га при коэффициенте вариации 19,6 %, что соответствует средней степени неоднородности. Причиной этого является отсутствие полной информации по азотному режиму и содержанию почвенного органического вещества элементарных участков, которая могла бы оптимизировать систему удобрений при переходе на точное земледелие.

Повышение дозы минеральных удобрений должно положительно отразиться на урожайности сельскохозяйственных культур. Однако в нашем опыте на варианте, где вносились удобрения на 4,0 т/га зерна, фактический сбор в среднем по полю составил 3,64 тонны, что на 5 % меньше предыдущего варианта. Как показал анализ урожайности по элементарным участкам, основные значения урожайности были смещены в сторону максимума и составляли 3,7–3,9 т/га, однако наличие участка с минимальным сбором зерна (3,1 т/га) на поле с дифференцированным внесением удобрений привело к снижению средней величины урожая. Этот вариант характеризовался минимальным размахом вариации (0,8 т/га) и коэффициентом неоднородности 8,6 %, что соответствует незначительной степени варьирования урожайности. Дробление нормы удобрений (5-й вариант) неблагоприятно отразилось на урожайности яровой пшеницы: в среднем по варианту она составила 3,23 т/га с диапазоном крайних значений от 3,00 до 3,90 т/га. Несмотря на незначительный размах варьирования, урожайность в целом по полю характеризовалась как значительно изменяющаяся ($CV=17,2\%$). Этот вариант убедительно доказывает о необходимости кардинального пересмотра подходов при разработке системы удобрений для точного земледелия.

Выводы

1. Черноземные почвы Северного Зауралья характеризуются пространственной неоднородностью плодородия и неустойчивым азотным режимом. Содержание нитратного азота в слое 0–40 см в весенний период изменяется в пределах 7–20 мг/кг почвы при коэффициенте варьирования 26 %, что соответствует значительной степени неоднородности. К моменту

кущения коэффициент вариации содержания нитратов возрастает до 54 % при размахе вариации 9 мг/кг.

2. Внесение усредненной дозы удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна яровой пшеницы увеличивает неоднородность поля по содержанию азота нитратов – коэффициент вариации к моменту кущения возрастает с 19 до 69 %.

3. Дифференцированное внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна по элементарным участкам способствует формированию поля с выравненным содержанием нитратного азота в течение всей вегетации. Коэффициент пространственной неоднородности к моменту кущения уменьшился с 35 до 25 %, а к уборке зерновых достиг минимальных значений по опыту – 9 %, что соответствовало незначительному варьированию.

4. Внесение повышенных доз азотных удобрений дифференцированным способом на планируемую урожайность 4,0 т/га не оказало положительного влияния на выравнивание поля по содержанию нитратного азота. Коэффициент вариации в период от посева до кущения увеличился почти в 5 раз, достигнув 34 %. К уборке этот показатель уменьшился до 23 %. Дробление нормы удобрений на основную дозу и подкормку уменьшило негативный эффект в начале вегетации (коэффициент варьирования увеличился с 26 до 52%), но подкормка в дальнейшем препятствовала формированию однородного плодородия поля.

5. Средняя урожайность яровой пшеницы на варианте без минеральных удобрений составила 2,85 т/га при варьировании от 2,4 до 3,1 т/га. Коэффициент вариации урожая составил 10,9 %, что соответствовало средней степени изменения. Внесение удобрений традиционным способом не оказало влияния на выравненность урожая по элементарным участкам, коэффициент вариации был сопоставим с контролем. Дифференцированное внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га не оправдало ожиданий – поле характеризовалось значительной неоднородностью по сбору зерна на элементарных участках. Увеличение дозы удобрений, обеспечивающих формирование 4,0 т/га на каждом элементарном участке, обеспечило получение зерна от 3,1 до 3,90 т/га. Коэффициент

вариации был минимальным в опыте и составил 8,6 %.

6. Для оптимизации системы дифференцированного внесения минеральных удобрений использование только данных по содержанию нитратного азота явно недостаточно, необходимо учитывать такие показатели, как содержание легкогидролизуемого азота, текущая нитрификация и показатели, стимулирующие действие азотных удобрений на микробиологическую активность почвенной микрофлоры.

Литература

1. *Логинов Ю.П., Казак А.А., Юдин А.А.* Сортовые ресурсы яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири и совершенствование их на перспективу // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2012. – № 3. – С. 18–24.
2. *Сидоров А.В., Нешумаева Н.А., Якубышина Л.И.* Создание новых сортов ярового ячменя для использования на кормовые цели // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 2 (113). – С. 148–152.
3. *Остапенко А.В., Тоболова Г.В.* Применение метода электрофореза проламинов овса для определения гибридной природы зерен F1 // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 2 (125). – С. 14–21.
4. *Абрамов Н.В., Еремина Д.В., Еремин Д.И.* Агроэкономическое обоснование применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в Северном Зауралье // Сиб. вестник с.-х. науки. – 2010. – № 5. – С. 11–17.
5. Изменение биологических и агрохимических свойств агрочернозема под действием удобрений в Красноярской лесостепи / *О.А. Ульянова, О.П. Горлова, Н.Л. Кураченко* [и др.] // Плодородие. – 2015. – № 2 (83). – С. 41–44.
6. *Еремин Д.И.* Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 584–592.
7. *Синяевский И.В.* Состояние плодородия почв и экологическая устойчивость агроландшафтов Челябинской области // Агропродовольственная политика России. – 2015. – № 1 (13). – С. 2–7.
8. *Рзаева В.В., Еремин Д.И.* Изменение агрофизических свойств чернозема выщелоченного при длительном использовании различных систем основной обработки и минеральных удобрений в Северном Зауралье // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 6. – С. 32–46.
9. *Кураченко Н.Л., Хижняк С.В.* Пространственное варьирование структурно-агрегатного состава черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи в предельно однородных условиях почвообразования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 35–40.
10. *Кураченко Н.Л., Бопп В.Л.* Динамика углерода водорастворимого гумуса в черноземе обыкновенном под чистыми и бинарными посевами донника // Сиб. вестник с.-х. науки. – 2016. – № 5 (22). – С. 14–20.
11. *Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В., Абрамов О.Н.* Дифференцированное внесение минеральных удобрений с использованием космических систем // Агропродовольственная политика России. – 2014. – № 2 (14). – С. 2–8.
12. *Еремин Д.И., Притчина Г.Т.* Оптимизация азотного питания яровой пшеницы для получения продовольственного зерна // Зерновое хозяйство. – 2005. – № 7. – С. 11.
13. *Шахова О.А., Еремин Д.И.* Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях внедрения ресурсосберегающих технологий в лесостепной зоне Северного Зауралья // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 1. – С. 149–152.
14. *Еремин Д.И.* Влияние длительного использования органо-минеральной системы удобрений зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного // Плодородие. – 2016. – № 2 (89). – С. 28–31.
15. *Абрамов Н.В., Семизоров С.А., Шерстобитов С.В.* Земледелие с использованием космических систем // Земледелие. – 2015. – № 6. – С. 13–18.
16. *Абрамов Н.В., Еремин Д.И.* Азот текущей нитрификации и хозяйственный вынос как фактор программирования урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья // Сиб. вестник с.-х. науки. – 2009. – № 2. – С. 25–29.

Literatura

1. Loginov Ju.P., Kazak A.A., Judin A.A. Sortovye resursy jarovoj mjagkoj pshenicy v Zapadnoj Sibiri i sovershenstvovanie ih na perspektivu // Sib. vestn. s.-h. nauki. – 2012. – № 3. – S. 18–24.
2. Sidorov A.V., Neshumaeva N.A., Jakubyschina L.I. Sozdanie novyh sortov jarovogo jachmenja dlja ispol'zovanija na kormovye celi // Vestnik KrasGAU. – 2016. – № 2 (113). – S. 148–152.
3. Ostapenko A.V., Tobolova G.V. Primenenie metoda jelektroforeza prolaminov ovsa dlja opredelenija gibridnoj prirody zeren F1 // Vestnik KrasGAU. – 2017. – № 2 (125). – S. 14–21.
4. Abramov N.V., Eremina D.V., Eremin D.I. Agrojekonomicheskoe obosnovanie primenenija mineral'nyh udobrenij pod jarovuju pshenicu v Severnom Zaural'e // Sib. vestnik s.-h. nauki. – 2010. – № 5. – S. 11–17.
5. Izmenenie biologicheskikh i agrohimicheskikh svojstv agrochernozema pod dejstviem udobrenij v Krasnojarskoj lesostepi / O.A. Ul'janova, O.P. Gorlova, N.L. Kurachenko [i dr.] // Plodorodie. – 2015. – № 2 (83). – S. 41–44.
6. Eremin D.I. Izmenenie sodержanija i kachestva gumusa pri sel'skohozejstvennom ispol'zovanii chernozema vyshhelochennogo lesostepnoj zony Zaural'ja // Pochvovedenie. – 2016. – № 5. – S. 584–592.
7. Sinjavskij I.V. Sostojanie plodorodija pochv i jekologicheskaja ustojchivost' agrolandshaftov Cheljabinskoj oblasti // Agroprodukovol'stvennaja politika Rossii. – 2015. – № 1 (13). – S. 2–7.
8. Rzaeva V.V., Eremin D.I. Izmenenie agrofizicheskikh svojstv chernozjoma vyshhelochennogo pri dlitel'nom ispol'zovanii razlichnyh sistem osnovnoj obrabotki i mineral'nyh udobrenij v Severnom Zaural'e // Vestnik KrasGAU. – 2010. – № 6. – S. 32–46.
9. Kurachenko N.L., Hizhnjak S.V. Prostranstvennoe var'irovanie strukturno-agregatnogo sostava chernozemov i seryh lesnyh pochv Krasnojarskoj lesostepi v predel'no odnorodnyh uslovijah pochvo-obrazovanija // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 1 (63). – S. 35–40.
10. Kurachenko N.L., Bopp V.L. Dinamika ugljeroda vodorastvorimogo gumusa v chernozeme obyknovennom pod chistymi i binarnymi posevami donnika // Sib. vestnik s.-h. nauki. – 2016. – № 5 (22). – S. 14–20.
11. Abramov N.V., Sherstobitov S.V., Abramov O.N. Differencirovanoe vnesenie mineral'nyh udobrenij s ispol'zovaniem kosmicheskikh sistem // Agroprodukovol'stvennaja politika Rossii. – 2014. – № 2 (14). – S. 2–8.
12. Eremin D.I., Pritchina G.T. Optimizacija azotnogo pitanija jarovoj pshenicy dlja poluchenija produkovol'stvennogo zerna // Zernovoe hozjajstvo. – 2005. – № 7. – S. 11.
13. Shahova O.A., Eremin D.I. Osobennosti mineral'nogo pitanija jarovoj pshenicy v uslovijah vnedrenija resursosberegajushchih tehnologij v lesostepnoj zone Severnogo Zaural'ja // Vestnik KrasGAU. – 2007. – № 1. – S. 149–152.
14. Eremin D.I. Vlijanie dlitel'nogo ispol'zovanija organo-mineral'noj sistemy udobrenij zernovogo sevooborota na dinamiku podvizhnogo kalija chernozema vyshhelochennogo // Plodorodie. – 2016. – № 2 (89). – S. 28–31.
15. Abramov N.V., Semizorov S.A., Sherstobitov S.V. Zemledelie s ispol'zovanie kosmicheskikh sistem // Zemledelie. – 2015. – № 6. – S. 13–18.
16. Abramov N.V., Eremin D.I. Azot tekushhej nitrifikacii i hozjajstvennyj vynos kak faktor programmirovannaja urozhajnosti jarovoj pshenicy v uslovijah Severnogo Zaural'ja // Sib. vestnik s.-h. nauki. – 2009. – № 2. – S. 25–29.