

АГРОХИМИЯ

МРНТИ 68.33.29

DOI: 10.51886/1999-740X_2025_4_38

С.Б. Кененбаев^{1*}, В.Н. Гусев^{1*}, А.М. Сагимбаева¹, К.У. Рустемова¹
ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ ЭЛЕМЕНТАМИ
ПИТАНИЯ И УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОРОШАЕМЫХ
СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ

¹ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства», 040909, Алматинская область, Карасайский район, Алмалыбак, ул.Ерленесова, 1, Казахстан,

**e-mail: serikkenenbayev@mail.ru; agfaagro@mail.ru*

Аннотация. В статье представлена оценка роли дистанционного зондирования земли в системе точного земледелия. Выявлено, что первостепенное значение имеет растительная и почвенная диагностики азотного и фосфорного питания растений для дифференцированного применения удобрений. Определены спектральные индексы, которые находятся в прямой зависимости от уровня азотного питания озимой пшеницы. Увеличение нормы вносимого минерального азота с 60 до 180 кг/га повысили показатели NDVI с 0,64 до 0,72. Последствие 20-60 т/га навоза изменяло эти показатели в более узких пределах – с 0,62 до 0,67. Калийные туки практически не изменяли показатели NDVI с некоторой тенденцией к снижению при увеличении их норм внесения. Рассчитана взаимосвязь между содержанием азота и хлорофиллом в растениях и урожайностью зерна, на основании, которой были получены индексы обеспеченности азотом и «зелёности» для различных уровней урожайности зерна. Установлено, что использование показателей индексов NDVI с помощью портативных фотометров не уступает традиционным методам диагностики азотного питания и может эффективно применяться в системе точного земледелия для установления количественной оценки степени интенсивности внутривидовой неоднородности и нуждаемости посевов озимой пшеницы в азотном питании.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, минеральное питание, озимая пшеница, урожайность, NDVI.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения является важной задачей, поскольку позволяет оценить их состояние. Одной из проблем, требующих внимания, является чрезмерная распашка и длительная обработка почвы в сельскохозяйственном производстве без восстановления плодородия, что приводит к деградации почвенного покрова. Это может проявиться в снижении содержания органического вещества, разрушении структуры почвы и утрате плодородия. Деградация земель ведет к снижению урожайности и качества посевов, что негативно сказывается на экономической эффективности сельского хозяйства [1, 2].

Особенно важно обратить внимание на деградацию почв в зоне с недостаточным количеством осадков на юго-востоке Казахстана, отличающихся низким уровнем естественного плодородия. Прежде всего, это (сравнительно с другими типами) бедность почвы органическим веществом, и как следствие, запасами минерального азота, который находится в первом минимуме. Другим важнейшим составляющим почвенного плодородия является фосфор, который играет особую роль в жизнедеятельности растений, выполняя функции регулятора энергетического баланса [3].

Появившиеся в XX веке технические возможности, в частности компьютерная технология, информационная и

телекоммуникационная техника открыли новый этап в развитии технологических решений для реализации на практике высокоэффективных агротехнологий в системе точного земледелия. Точное земледелие включает три главных компонента:

а) оценка состояния почвы и растительного покрова каждого конкретного участка поля на основе интеграции данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) с полевыми и лабораторными исследованиями;

б) использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), обеспечивающих точность технологических операций (посев, обработка, уборка) с учетом особенности рельефа и т.д.;

в) корректировка норм высева, доз внесения удобрений и средств защиты растений в зависимости от обеспеченности почв питательными веществами, состояния растений, наличия сорняков, болезней и вредителей на каждом конкретном участке обрабатываемого поля в режиме реального времени.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) уже сейчас находят все более широкое применение в сельском хозяйстве, особенно для принятия управленческих решений. К числу наиболее динамично развивающихся и приоритетных сфер применения данных ДЗЗ относятся космический сельскохозяйственный мониторинг, управление сельскохозяйственным землепользованием, создание и актуализация карт сельскохозяйственных земель, в т.ч. мониторинг изменения границ посевных площадей, состояния посевов на основе расчета вегетационных индексов, оценка продуктивности сельскохозяйственных культур и прогноз их урожайности, картографирование характеристик почвенного покрова земель, уточнение и обновление существующих почвенных и агрономических карт на

основе материалов аэрофотосъемки с использованием БПЛА, выявление и картографирование участков деградации и другое [4-11].

Новизной исследований является использование данных дистанционного зондирования в точном земледелии для обнаружения аномального развития (угнетенного состояния) растений. Такие аномалии могут быть вызваны самыми различными факторами: поражением растений вредителями, угнетением их сорной растительностью, недостатком основных элементов питания, водным стрессом растений и т.д. [12-18].

Более сложной задачей является обнаружение количественных связей между биофизическими параметрами состояния растений и изменениями спектрального отклика растительного покрова, обусловленного влиянием конкретного фактора внешней среды или применяемой агротехнологии. В этой связи задачей настоящей работы является диагностика (как растительная, так и почвенная) азотного и фосфорного питания для эффективного внедрения в системе точного земледелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований является длительный многофакторный стационарный полевой опыт на орошаемых светло-каштановых почвах Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства.

Район исследований относится к предгорной пустынно-степной зоне с абсолютными отметками 800-900 метров над уровнем моря. Почва опытного участка светло-каштановая, среднесуглинистая. Содержание гумуса 2,0-2,5%. Почва очень низко обеспечена щелочно-гидролизующим азотом, среднеобеспечена подвижным фосфором и обменным калием.

Исследования проводились в 2018-2024 гг. с целью повышения продуктив-

ности озимой пшеницы на основе дифференцированного применения удобрений, основанных на учете внутривидовой вариации полей и растений по содержанию элементов питания для сельскохозяйственного производства юго-востока Казахстана.

Схема опыта представляет специальную выборку 1/8 части полного факториального эксперимента (4x4x4x4), включающего 32 варианта в двукратной повторности (рисунок 1). В опыте изучалась эффективность возрастающих норм азотных, фосфорных, калийных удобрений и навоза на агрохимические показатели почвы, урожайность и качество зерна озимой

пшеницы. Одинарная норма минеральных удобрений составляла N60P60K60, навоза – 20 т/га. Навоз вносился один раз за ротацию севооборота под кукурузу на зерно.

Мониторинг и наблюдение опытного участка в период роста и развития сорта озимой пшеницы Алмалы проводились с помощью БПЛА методом дистанционного зондирования, который выполнялся в спектральном индексе NDVI. Основным показателем NDVI при его дистанционном определении служит зеленая фитомасса сельскохозяйственных культур, которая определяется содержанием хлорофилла.

8 0202	7 3113	6 1333	5 2022	4 2220	3 1131	2 3311	1 0000
16 2002	15 1313	14 3133	13 0222	12 0020	11 3331	10 1111	9 2200
24 1133	23 2222	22 0002	21 3313	20 3111	19 0200	18 2020	17 1331
32 3333	31 0022	30 2202	29 1113	28 1311	27 2000	26 0220	25 3131
40 2220	39 1131	38 3311	37 0000	36 0202	35 3113	34 1333	33 2022
48 0020	47 3331	46 1111	45 2200	44 2002	43 1313	42 3133	41 0222
56 3111	55 0200	54 2020	53 1331	52 1133	51 2222	50 0002	49 3313
64 1311	63 2000	62 0220	61 3131	60 3333	59 0022	58 2202	57 1113

Рисунок 1 - Схема расположения вариантов опыта



Рисунок 2 - Снимок опытного участка с помощью БПЛА

Площадь опытной делянки – 150 м² (25x6 м), повторность опыта 4-х кратная. Определение основных элементов питания (НРК) в почве и растениях про-

водили по соответствующим ГОСТам и общепринятым методикам. Щелочно-гидролизующий азот в почве определяли по Корнфилду, подвижный фосфор и

обменный калий по Мачигину, в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91). Статистическая обработка данных проводилась по Б.А. Доспехову [19].

Спектральная отражательная способность зеленой растительности является характерным признаком и используется для дистанционной диагностики обеспеченности растений элементами питания. В видимом диапазоне волн пигментация влияет на спектральные характеристики растений, особенно хлорофилла, что отчетливо видно на рисунке 2. По представленному снимку опытного участка прослеживается пестрота опытного поля, особенно выделяются деланки без внесения азотных удобрений и варианты с различными их нормами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшим условием формирования высоких урожаев хорошего качества является обеспечение растений достаточным количеством питательных веществ в течении вегетации. Начиная с прорастания семени и появления первичного корешка, растения озимой

пшеницы нуждаются в фосфоре, а с появлением первых листочков и в азоте. Достаточное фосфорное и азотное питание в начальный период стимулирует рост и развитие растений, способствует большему усвоению питательных веществ.

На первом этапе исследований нами установлена взаимосвязь между возрастающими нормами удобрений (60-120-180 кг/га действующего вещества) и содержанием азота, фосфора, калия и хлорофилла (таблица 1).

При основном внесении возрастающих норм удобрений содержание элементов питания в растениях озимой пшеницы повышалось. Так в фазу кущения содержание азота увеличилось на 0,68-1,18%, фосфора - на 0,24-0,49, калия - на 0,96-1,18%. При этом наибольшие показатели прироста при увеличении доз удобрений (в относительных процентах) характеризовали содержание фосфора 77,8%, прирост содержания азота и калия составил 30 и 34%, соответственно.

Таблица 1 – Влияние удобрений на содержание азота, фосфора, калия и хлорофилла в растениях пшеницы в начальные фазы развития

Кодированные нормы удобрений*	Содержание, %						
	до подкормки азотом			после подкормки азотом			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	хлорофилл, мг/г сырой массы
0000	3,03	0,59	3,46	3,12	0,82	3,59	4,0
1111	3,71	0,83	4,42	3,61	1,06	4,55	6,93
2222	3,95	1,08	4,62	5,80	1,20	4,76	7,31
3333	4,08	1,05	4,64	6,47	1,17	4,80	7,93

Примечание: первая цифра азот, вторая – фосфор, третья – калий, четвертая – навоз

Азотная подкормка озимой пшеницы в максимальной дозе - 120 кг/га в период кущения привела к наибольшему увеличению содержания азота к концу полного кущения на 107,1 и хлорофилла на 94,4 относительных %. Содержание фосфора и калия возросло

на 42,7 и 33,7%. При этом содержание азота на 92% и содержания хлорофилла на 81% определялись нормами внесения азотного удобрения в подкормку. Что подтверждают данные рисунка 3, показывающих силу и направленность действия отдельных элементов и их

взаимодействия на содержание общего азота в растениях озимой пшеницы.

Анализ полученных урожайных данных позволил рассчитать уравнение регрессии, в котором с высокой степенью вероятности ($r=0.89$; $d=79.2$) описывается действие удобрений на урожайность зерна пшеницы.

Из рисунка 4 видно, что определяющее влияние на урожайность зерна оказывают азотные удобрения. Практически отсутствовала эффективность фосфорных удобрений, что объясняется достаточно высокой обеспеченностью опытного участка подвижным фосфором (40,8 мг/кг).

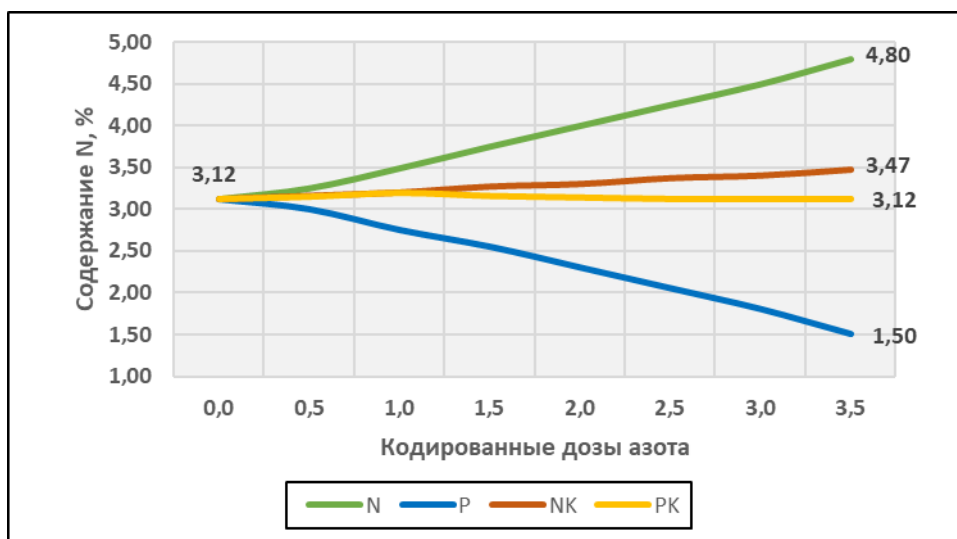


Рисунок 3 – Влияние удобрений на содержание общего азота в растениях озимой пшеницы в фазу кущения

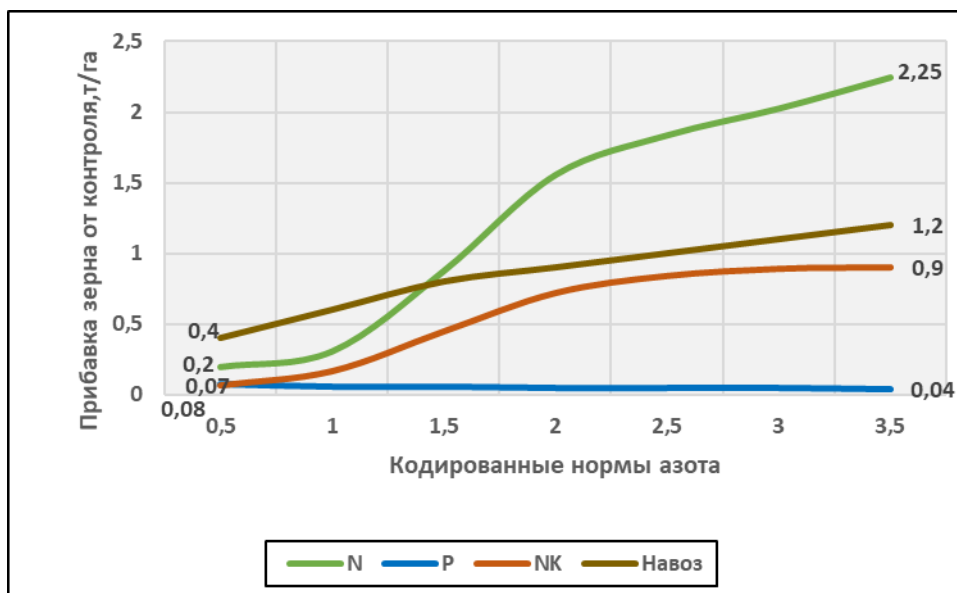


Рисунок 4 - Влияние удобрений на прирост урожая зерна озимой пшеницы

Была рассчитана взаимосвязь между содержанием азота и хлорофилла в растениях и урожайностью зерна, на основании которой были получены индексы обеспеченности азотом и индексы «зелёности» (таблица 2).

Таблица 2 - Индексы обеспеченности растений озимой пшеницы азотом и индексы «зелености» для различных уровней урожайности зерна

Урожайность зерна, т/га	< 3,0	3,1-3,5	3,6-4,0	4,1-4,5	4,6-5,0	>5,0
Общий азот, %	< 2,6	2,7-3,0	3,1-3,3	3,4-3,7	3,8-4,0	>4,0
Хлорофилл, мг/г	< 1,8	1,9-2,3	2,4-2,7	2,8-3,1	3,2-3,5	>3,5

О принципиальной возможности прогнозировать урожай зерна пшеницы по содержанию общего азота или хлорофилла в фазу кущения (ответственная фаза закладки и формирования урожая) свидетельствуют данные рисунков 5 и 6, где были сопоставлены фактические урожаи зерна в многофакторном опыте (64 варианта) и их расчетные показатели по содержанию азота ($r=0.75$) и хлорофилла ($r=0.73$) в биомассе растений.

Нами устанавливалась возможность дистанционной диагностики обеспеченности растений озимой пшеницы элементами минерального питания при помощи фотометрического определения вегетационного индекса – NDVI.

В литературе имеется достаточное количество исследований, свидетельствующих об успешном опыте применения этого метода для установления нуждаемости зерновых культур, в частности, азоте [20-22].

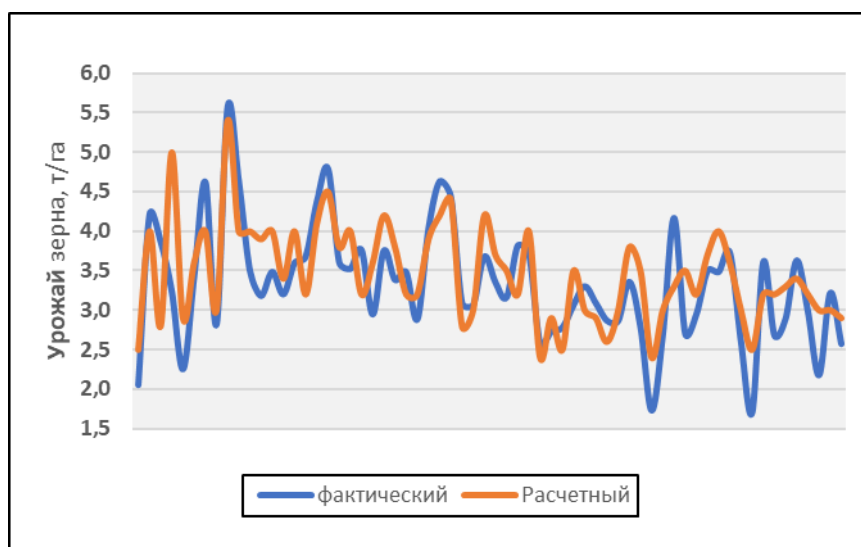


Рисунок 5 – Фактический и расчетный (по содержанию общего N) урожай зерна пшеницы

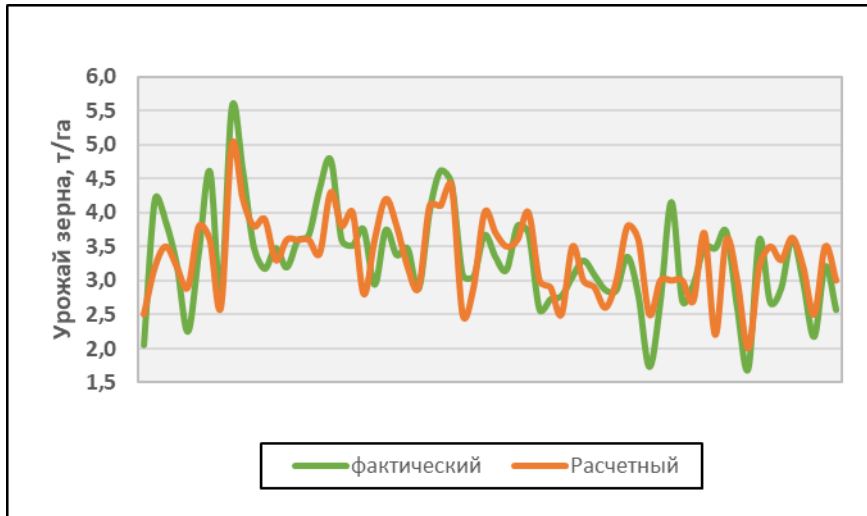


Рисунок 6 – Фактический и расчетный (по содержанию хлорофилла) урожай зерна пшеницы

Для проведения фотометрической диагностики был использован портативный датчик Green Seeker, который позволяет определять индекс NDVI посредством отраженного света от листовой поверхности растений и излучения света по двум длинам волн (рисунок 7).

Полученные спектральные индексы находились в прямой зависимости от уровня азотного питания озимой пше-

ницы. Увеличение нормы вносимого минерального азота с 60 до 180 кг/га увеличивали показатели NDVI с 0.64 до 0.72. Последствием 20-60 т/га навоза изменяло эти показатели в более узких пределах – с 0,62 до 0,67. Калийные туки практически не изменяли показатели NDVI с некоторой тенденцией к снижению при увеличении их норм внесения (таблица 3).

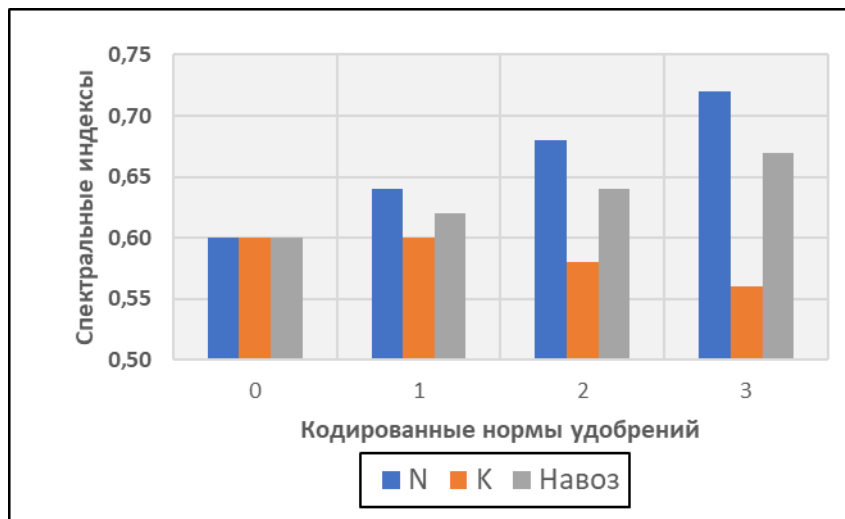


Рисунок 7 – Нормы удобрений и спектральные индексы озимой пшеницы в фазу трубкования

Таблица 3 - Обеспеченность озимой пшеницы азотным питанием, определенная дистанционным и наземными методами в фазы кущения растений

Варианты опыта	NDVI*	Содержание N	Содержание хлорофилла	Урожай, т/га
0	0,60	3,12	4,08	3,2
N60	0,64	3,61	6,93	3,5
N120	0,68	5,80	7,31	4,8
N180	0,72	6,47	7,93	5,5
Коэффициент корреляции (r)	0,98	0,99	0,64	
Примечание: *- NDVI в фазу выметывания				

Приведенные диагностические показатели, полученные способом дистанционного зондирования и традиционными методами и их тесная взаимосвязь между собой и полученным урожаем, выражаемая высокими значениями коэффициентов парной линейной корреляции, свидетельствует о возможности установления обеспеченности растений озимой пшеницы азотным питанием на основе данных NDVI.

ВЫВОДЫ

1. В результате исследований определены спектральные индексы, которые находятся в прямой зависимости от уровня азотного питания озимой пшеницы. Увеличение нормы вносимого минерального азота с 60 до 180 кг/га увеличивали показатели NDVI с 0.64 до 0.72. Последствие 20-60 т/га навоза изменяло эти показатели в более узких пределах – с 0,62 до 0,67. Калийные туки практически не изме-

няли показатели NDVI с некоторой тенденцией к снижению при увеличении их норм внесения.

2. Рассчитана взаимосвязь между содержанием азота и хлорофилла в растениях и урожайностью зерна на основании которой были получены индексы обеспеченности азотом и «зелёности» для различных уровней урожайности зерна.

3. Установлено, что использование показателей индексов NDVI не уступает традиционным методам диагностики азотного питания (содержание азота и хлорофилла в биомассе растений) и может эффективно применяться в системе точного земледелия для установления количественной оценки степени интенсивности внутривидовой неоднородности и нуждаемости посевов озимой пшеницы в азотном питании для получения планируемых уровней урожайности.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная статья опубликована в рамках программно-целевого финансирования научных исследований Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы по программе ИРН BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берденгалиева А.Н., Берденгалиев Р.Н. Связь сезонной динамики озимой пшеницы и рельефа в подзоне южных чернозёмов Волгоградской области// Научно-агрономический журнал. – 2022. – № 3(118). – С. 49–56.

2. Манаенков А.С., Корнеева Е.А. Биogeографические аспекты оценки эффективности защиты пахотных земель лесными полосами// Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2021. – № 3. – С. 48–54.
3. FAO. The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. – 163 p.
4. Hendricks G.S., Shukla S., Roka F.M. et al. Economic and environmental consequences of overfertilization under extreme weather conditions// Journal of Soil and Water Conservation. – 2019. – Vol. 74. – P. 160–171.
5. Холодов О.А. Комплексный мониторинг использования земель сельскохозяйственного назначения в современный период// Вестник Волгоградского государственного университета. Серия «Экономика». – Волгоград, 2019. – № 3. – С. 107–119.
6. Богданова О.В., Окмянская В.М., Сизов А.П. Анализ системы мониторинга объектов особо охраняемых природных территорий на примере Тюменской области// Использование и охрана природных ресурсов в России. – Тюмень, 2019. – № 3(159). – С. 72–77.
7. Мартынова Н.Г., Кравченко В.Г. Мониторинг сельскохозяйственных земель по данным дистанционного зондирования// International Agricultural Journal. – 2023. – Т. 66, № 1. – С. 69–86.
8. Михайленко И.М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – 252 с.
9. Сальников С.Г., Тухина Н.Ю. Геоинформационные системы как базовая система информационного обеспечения сельского хозяйства// Вестник Московского гуманитарно-экономического института. – Москва, 2018. – № 4. – С. 100–103.
10. Pisman T.I., Botvich I.Y., Sidko A.F. Assessment of agroecosystem productivity based on satellite data and a mathematical model// Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2015. – Vol. 1, № 8. – P. 133–140.
11. Сахарова Е.Ю., Сладких Л.А., Захватов М.Г. Спутниковый мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности зерновых культур на юге Западной Сибири// Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 67–72.
12. Homolová L., Malenovský Z., Clevers J.G., Garcia-Santos G., Schaepman M.E. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping// Ecological Complexity. – 2013. – Vol. 15. – P. 1–16.
13. Комарова А.Ф., Журавлёва И.В., Яблоков В.М. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова// Принципы экологии. – 2016. – № 1. – С. 40–71.
14. Gusev V.N., Bastaubayeva Sh.O., Khidirov A.E., Zhusupbekov E.K., Tabynbayeva L.K. Nitrogen nutrition of crop plants in the precision farming system in the south and southeast Kazakhstan// SABRAO Journal of Breeding and Genetics. – 2022. – Vol. 54(4). – P. 842–850.
15. Малышевский В.А., Фёдоров Ю.П. и др. Расчёт содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли// Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 92(08). – С. 859–883.
16. Украинский П.А., Нарожняя А.Г., Гагина И.С. К вопросу о возможности моделирования связи содержания гумуса и спектральной отражательной способ-

ности почвы на основе данных традиционных агрохимических обследований и многозональных спутниковых снимков LANDSAT 8 OLI// Аграрный научный журнал. – 2015. – № 12. – С. 29–32.

17. Савельев А.А., Григорьян Б.Р., Добрынин Д.В., Мухарамова С.С., Кулагина и др. Оценка почвенного плодородия по данным дистанционного зондирования Земли// Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки». – 2012. – Т. 154, кн. 3. – С. 158–172.

18. Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. и др. Роль дистанционного зондирования Земли в точном земледелии// Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93, № 10. – С. 955–969.

19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

20. Сычѳв В.Г., Афанасьев Р.А., Кирсанов Г.А. и др. Возможности дистанционной диагностики минерального питания растений// Плодородие. – 2020. – № 2. – С. 13–17.

21. Осипов Ю.Ф., Иваницкий Я.В., Ширинян М.Х., Афанасьев Р.А., Галицкий В.В. Использование прибора N-тестер «Яра» для диагностики азотного питания озимой пшеницы// Плодородие. – 2011. – № 1. – С. 26–29.

22. Афанасьев Р.А. Дистанционная диагностика азотного питания растений с использованием БПЛА// Плодородие почв России: состояние и возможности. – М.: ВНИИА, 2019. – С. 191–196.

REFERENCES

1. Berdengaliev A.N., Berdengaliev R.N. Svyazь sezonnoi dinamiki ozimoi pshenitsy i relьefa v podzone yuzhnykh chernozemov Volgogradskoi oblasti// Nauchno-agronomicheskii zhurnal. – 2022. – № 3(118). – S. 49–56.

2. Manaenkov A.S., Korneeva E.A. Biogeograficheskie aspekty otsenki effektivnosti zashchity pakhotnykh zemelь lesnymi polosami// Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. – 2021. – № 3. – S. 48–54.

3. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

4. Hendricks G.S., Shukla S., Roka F.M. et al. Economic and environmental consequences of overfertilization under extreme weather conditions// Journal of Soil and Water Conservation. – 2019. – Vol. 74. – P. 160–171.

5. Kholodov O.A. Kompleksnyi monitoring ispolьzovaniya zemelь selьskokhozyaistvennogo naznacheniya v sovremennyi period// Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Ekonomika». – Volgograd, 2019. – № 3. – S. 107–119.

6. Bogdanova O.V., Okmyanskaya V.M., Sizov A.P. Analiz sistemy monitoringa obьektov osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii na primere Tyumenskoi oblasti// Ispolьzovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii. – Tyumenь, 2019. – № 3(159). – S. 72–77.

7. Martynova N.G., Kravchenko V.G. Monitoring selьskokhozyaistvennykh zemelь po dannym distantsionnogo zondirovaniya// International Agricultural Journal. – 2023. – Т. 66, № 1. – S. 69–86.

8. Mikhailenko I.M. Teoreticheskie osnovy i tekhnicheskaya realizatsiya upravleniya agrotekhnologiyami. – SPb.: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2017. – 252 s.

9. Saľnikov S.G., Tukhina N.Yu. Geoinformatsionnye sistemy kak bazovaya sistema informatsionnogo obespecheniya sel'skogo khozyaistva// Vestnik Moskovskogo gumanitarno-ekonomicheskogo instituta. – Moskva, 2018. – № 4. – S. 100–103.
10. Pisman T.I., Botvich I.Y., Sidko A.F. Assessment of agroecosystem productivity based on satellite data and a mathematical model// Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2015. – Vol. 1, № 8. – P. 133–140.
11. Sakharova E.Yu., Sladkikh L.A., Zakhvatov M.G. Sputnikovyi monitoring sostoyaniya posevov i prognozirovanie urozhainosti zernovykh kul'tur na yuge Zapadnoi Sibiri// Interekspo GEO-Sibir'–2014. Mezhdunar. nauch. konf. «Distsionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchei sredy, geokologiya». – Novosibirsk: SGGa, 2014. – T. 1. – S. 67–72.
12. Homolova L., Malenovský Z., Clevers J. G., Garcia-Santos G., Schaepman M. E. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping// Ecological Complexity. 2013. Vol. 15. P. 1–16.
13. Komarova A.F., Zhuravleva I.V., Yablokov V.M. Otkrytye mul'tispektral'nye dannye i osnovnye metody distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii rastitel'nogo pokrova// Printsipy ekologii. – 2016. – № 1. – S. 40–71.
14. Gusev V.N., Bastaubayeva Sh.O., Khidirov A.E., Zhusupbekov E.K., Tabynbayeva L.K. Nitrogen nutrition of crop plants in the precision farming system in the south and southeast Kazakhstan// SABRAO Journal of Breeding and Genetics. – 2022. – Vol. 54(4). – P. 842–850.
15. Malyshevskii V.A., Fedorov Yu.P. i dr. Raschet sodержaniya gumusa s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli// Nauchnyi zhurnal KubGAU. – 2013. – № 92(08). – S. 859–883.
16. Ukrainskii P.A., Narozhnyaya A.G., Gagina I.S. K voprosu o vozmozhnosti modelirovaniya svyazi sodержaniya gumusa i spektral'noi otrazhatel'noi sposobnosti pochvy na osnove dannykh traditsionnykh agrokhimicheskikh obsledovaniy i mnogo-zonal'nykh sputnikovykh snimkov LANDSAT 8 OLI// Agrarnyi nauchnyi zhurnal. – 2015. – № 12. – S. 29–32.
17. Savel'ev A.A., Grigor'yan B.R., Dobrynin D.V., Mukharamova S.S., Kulagina i dr. Otsenka pochvennogo plodorodiya po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli// Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya «Estestvennye nauki». – 2012. – T. 154, kn. 3. – S. 158–172.
18. Yakushev V.P., Yakushev V.V., Blokhina S.Yu. i dr. Rol' distantsionnogo zondirovaniya Zemli v tochnom zemledelii// Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. – 2023. – T. 93, № 10. – S. 955–969.
19. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
20. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Kirsanov G.A. i dr. Vozmozhnosti distantsionnoi diagnostiki mineral'nogo pitaniya rasteniy// Plodorodie. – 2020. – № 2. – S. 13–17.
21. Osipov Yu.F., Ivanitskii Ya.V., Shirinyan M.Kh., Afanas'ev R.A., Galitskii V.V. Ispol'zovanie pribora N-tester «Yara» dlya diagnostiki azotnogo pitaniya ozimoi pshenitsy// Plodorodie. – 2011. – № 1. – S. 26–29.
22. Afanas'ev R.A. Distsionnaya diagnostika azotnogo pitaniya rasteniy s ispol'zovaniem BPLA// Plodorodie pochv Rossii: sostoyanie i vozmozhnosti. – M.: VNIIA, 2019. – S. 191–196.

ТҮЙІН

С.Б. Кененбаев^{1*}, В.Н. Гусев^{1*}, А.М. Сағымбаева¹, Қ.У. Рүстемова¹

КҮЗДІК БИДАЙДЫҢ СУАРМАЛЫ АШЫҚ ҚОҢЫР ТОПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ ҚОРЕКТЕНУ ЭЛЕМЕНТТЕРІМЕН ЖӘНЕ ӨНІМДІЛІГІМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТІЛУІН ҚАШЫҚТЫҚТАН ДИАГНОСТИКАЛАУ

*«Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты»
ЖШС, 040909, Алматы облысы, Қарасай ауданы, Алмалыбақ, Ерлепесов көшесі, 1,
Қазақстан, *e-mail: serikkenenbayev@mail.ru; agfaagro@mail.ru*

Мақалада жерді қашықтықтан зондтаудың нақты егіншілік жүйесіндегі рөлі бағаланды. Тыңайтқыштарды саралап қолдану үшін өсімдіктердің азотпен және фосформен қоректенуінің өсімдік және топырақ диагностикасының маңыздылығы зерттеліп, күздік бидайдың азотпен қоректену деңгейіне тікелей тәуелді спектрлік көрсеткіштері анықталды. Қолданылатын минералды азот нормасының 60-тан 180 кг/га-ға артуы NDVI көрсеткіштерін 0,64-тен 0,72-ге дейін өсірді. 20-60 т/га көңнің кейінгі әсері бұл көрсеткіштерді неғұрлым тар шектерде – 0,62-ден 0,67-ге дейін өзгертті. Калий тыңайтқыштары NDVI көрсеткіштерін іс жүзінде өзгертпеді, олардың қолдану қарқынының жоғарылауымен төмендеу үрдісі бар. Өсімдіктердегі азот пен хлорофилл мөлшері мен астық шығымдылығы арасындағы байланыс есептелді. Оның негізінде астық шығымының әртүрлі деңгейлері үшін азотпен қамтамасыз ету көрсеткіштері және «жасылдық» көрсеткіштері алынды. Портативті фотометрлердің көмегімен NDVI индексінің көрсеткіштерін пайдалану азотпен қоректенуді диагностикалаудың дәстүрлі әдісінен кем түспейтіні және егістік танабындағы гетерогенділіктің қарқындылығы мен күздік бидайдың қажеттілігін сандық бағасын белгілеу үшін нақты егіншілік жүйесінде тиімді пайдаланылуы мүмкін екендігі анықталды.

Түйінді сөздер: Қашықтықтан зондтау, минералды қоректену, күздік бидай, шығымдылық, NDVI.

SUMMARY

S.B. Kenenbaev^{1*}, V.N. Gusev^{1*}, A.M. Sagimbaeva¹, K.U. Rustemova¹

REMOTE DIAGNOSTICS OF SOIL NUTRIENT SUPPLY AND YIELD OF WINTER WHEAT ON IRRIGATED LIGHT CHESTNUT SOILS

*LLP "Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing", 040909, Almaty region, Karasai district, Almalybak, st. Erlepesov, 1, Kazakhstan,
e-mail: serikkenenbayev@mail.ru; agfaagro@mail.ru;

The article evaluates the role of remote sensing in the precision farming system. It has been found that plant and soil diagnostics of nitrogen and phosphorus nutrition play a primary role in the differentiated application of fertilizers. Spectral indices directly dependent on the level of nitrogen nutrition in winter wheat have been identified. Increasing the rate of applied mineral nitrogen from 60 to 180 kg/ha increased NDVI values from 0.64 to 0.72. The residual effect of manure application at 20–60 t/ha altered these values within a narrower range, from 0.62 to 0.67. Potassium fertilizers had little effect on NDVI values, with a slight tendency to decrease as application rates increased. The correlation between nitrogen and chlorophyll content in plants and grain yield was calculated, based on which nitrogen sufficiency indices and "greenness" indices were obtained for different grain yield levels. With the help of portable photometers of NDVI indices obtained with portable photometers is comparable to traditional methods of nitrogen nutrition diagnostics and can be effectively used in precision farming to quantitatively assess the degree of in-field heterogeneity and the nitrogen needs of winter wheat crops.

Keywords: Remote sensing, mineral nutrition, winter wheat, yield, NDVI.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Кененбаев Серик Барменбекович - главный научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1745-8475>,

e-mail: serikkenenbayev@mail.ru

2. Гусев Виталий Николаевич - ведущий научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7309-5790>, e-mail: agfaagro@mail.ru;

3. Сагимбаева Айна Муратовна - научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, магистр сельскохозяйственных наук, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1481-2187>, e-mail: ainasagimbaeva_78@mail.ru

4. Рустимова Карлыга Усенгалиевна - младший научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, магистр сельскохозяйственных наук, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5086-2790>, e-mail: karligaw_91@bk.ru