

АГРОХИМИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ НА СЕВЕРЕ КАЗАХСТАНА

В.Г. Черненко

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,
010011, Астана, пр-т Победы, 62, Казахстан*

В данной работе представлены основные результаты многолетних исследований одной из важнейших проблем агрохимии – поиска наиболее совершенных методов диагностики условий почвенного питания и разработке приемов целенаправленного управления плодородием почв с учетом требования возделываемых культур, обеспечивающих реализацию ее потенциальных возможностей и получение максимально возможного или планируемого урожая в складывающихся условиях возделывания на почвах Северного Казахстана.

Почвы Северного Казахстана представлены в основном двумя типами почв – черноземами обыкновенными и южными, расположенными в лесостепной и степной зонах со среднегодовыми осадками 350-370 мм и каштановыми, представляющими сухостепную зону. Сухостепная зона охватывает более 40% почв Северного Казахстана и представлена в основном темно-каштановыми почвами, характеризующимися средним уровнем плодородия, с содержанием гумуса 3-5%, валового азота 0,15-0,28%, общего фосфора 0,10-0,15%, валового калия 2%.

Резко континентальный климат, недостаточное и неустойчивое увлажнение (от 160 до 400 мм), экстенсивное использование пашни на протяжении более 50 лет привело к серьезному падению плодородия почв, а вместе с ним и урожайности зерновых культур (до 5-6 ц в засушливые годы), что сделало производство зерна крайне не устойчивым. Вместе с тем, именно на почвах сухостепной зоны, в условиях недостаточного увлажнения, формируется зерно самого высокого качества.

Не случайно Президент страны назвал плодородие почв «основой основ благополучия сельского хозяйства». Он призвал покончить с дефляцией почв, к анализу достижений аграрной науки и внедрению прорывных достижений способных кардинально повысить эффективность и конку-

рентоспособность сельскохозяйственного производства.

Но решая, проблему повышения плодородия почв возникает вопрос, а хорошо ли мы знаем, что конкретно повышать и до какого предела, учитывая, что плодородие почв определяется совокупностью многих факторов в большей или меньшей степени обеспечивающих повышение её производительной способности.

Поэтому, для целенаправленного управления очень важно было выявить основные факторы плодородия, определяющие формирование урожайности, определить их оптимальные параметры и методы достижения.

На решение этой проблемы и были направлены наши многолетние исследования, проводившиеся в длительных стационарных многовариантных опытах на темно-каштановых почвах Акмолинской, бывшей Тургайской и Карагандинской областей, а в последние годы и на обыкновенных черноземах Северо-Казахстанской области.

Нами исследовалось 11 показателей, характеризующих агрохимическое и агрофизическое состояние почв: содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, рН водной вытяжки, поглощенные кальций и магний, содержание физической глины, сумма водопрочных агрегатов, сумма агрономически ценных катионных микроагрегатов, целлюлозоразлагающая способность,

формы азота, подвижный фосфор и обменно-поглощенный калий.

Анализ парной корреляции этих факторов с урожайностью показал отсутствие связи урожайности с целлюлозаразлагающей способностью, агрономически ценными микроагрегатами, физической глиной и мощностью гумусового горизонта. Коэффициент корреляций с ними составил 0,02-0,06. Средняя связь выявлена только содержанием водопрочных агрегатов ($n = 427$).

Учитывая многофакторную связь урожайности с показателями плодородия почв, нами была проведена математическая обработка полученных данных по множественной регрессии, подтвердившей результаты парной корреляции.

Причиной низкой корреляции перечисленных факторов с урожайностью является низкая степень варьирования их в пределах одного подтипа почв с одной стороны, с другой - высокая коррелированность с другими более значимыми факторами, в частности, с содержанием гумуса и Са.

Множественная регрессия показала, что исключение их из регрессии снижают корреляцию лишь на 0,04-0,013 с 0,967 по всем факторам.

Таким путем выявлены основные факторы, определяющие формирование урожайности. Это гумус, $N-NO_3$, P_2O_5 , их соотношение, Са, Mg, K_2O , pH и влагообеспеченность.

Кроме уже выявленных связей урожайности с $N-NO_3$ и P_2O_5 , высокая связь получена с содержанием гумуса ($K_o = 0,71$). С повышением содержания гумуса урожай возрастал, плато по гумусу не достигнуто, в связи с невысоким его содержанием (макс. 3,8%), но максимальный урожай (40,8 ц) формировался уже при содержании гумуса 3,2-3,3%, с pH, при слабом ее варьировании (6,9-8,8), связь невысока ($K_o = 0,27$). Высокая связь с $Ca + Mg$ ($K_o = 0,8$). Максимальный урожай формировался при 18-20 мг/экв на 100г почвы. Повышение до 30 - снижало урожайность, по-видимому, в связи с падением доступности P_2O_5 , в силу более выраженного химического поглощения. С K_2O связь невысока (0,37). Лучший урожай

формировался при содержании 35-60 мг K_2O на 100г почвы. При более высоком насыщении почв калием урожай снижается.

Существенную роль в формировании урожайности играло соотношение между P_2O_5 в слое 0-20 см и $N-NO_3$ в слое 0-40 см ($K_o = 0,57$), оптимум 2,5...3, выдерживают до 4, при более высоком соотношении урожай снижается. Перенасыщение почв фосфором подавляет биологические процессы в почве и, прежде всего, процесс нитрификации

Связь урожайности с запасами продуктивной влаги перед посевом не высока (K_o по слою 0-100 см = 0,40, а по 0-20 см = 0,22), это говорит лишь о том, что влага не единственный фактор участвующий в формировании урожайности.

На сегодня хорошо известно, что основным средством, способным повлиять на химические процессы в почве и растениях, являются удобрения, несущие в себе источник пищи для растений.

Проблема в том, чтобы с высокой точностью определить: когда, что, сколько и как надо внести, под данную культуру на данном поле, чтобы целенаправленно изменить ситуацию в нужном направлении с учетом свойств почв и биологических особенностей и потребности культур.

Последнее зависит от совершенства методов диагностики условий почвенного питания и определения потребности *не почв*, а возделываемых культур в этих элементах.

Апробация наиболее распространенных методов диагностики - полевых опытов, методов растительной диагностики, балансовых методов определения потребности культур в удобрениях в условиях Северного Казахстана не дала удовлетворительных результатов. Результаты полевого опыта (эмпирические данные), не увязанные с агрохимическими показателями почв, носят сугубо частный, локальный характер и отражают лишь ту ситуацию, в которой он проведен, что ограничивает возможности широкой интерпретации полученных выводов и воспроизводимости результатов, затрудняет выбор оптимальных решений. Любое изменение условий проведения

опытов влечет за собой и изменение результатов эксперимента. Это является одной из причин, ограничивающих возможности широкой интерпретации полученных выводов и воспроизводимости результатов, не позволяет вскрыть объективные закономерности процессов, происходящих в системе почва-удобрение-растение, а значит, и решить проблему управления ими. Провести же на каждом поле эксперимент невозможно, в силу и длительности и трудоемкости.

Показательными в этом отношении являются, результаты по изучению эффективности азотных удобрений, представлен-

ные на рисунке 1 по трем ротациям, зернопарового севооборота.

В первой ротации пятипольного зернопарового севооборота (1) на фоне 13 мг/кг $N-NO_3$ азотные удобрения снижали урожайность и тем больше, чем меньше содержалось в почве фосфора (1) – на фоне 8,5 мг/кг те же дозы азота повышали урожайность от 2 до 9 ц/га (с учетом последствий) при повышении содержания фосфора от 25 до 34-35 мг/кг. Более высокое насыщение почв фосфором отрицательно влияло на эффективность азотных удобрений (3, 3а).

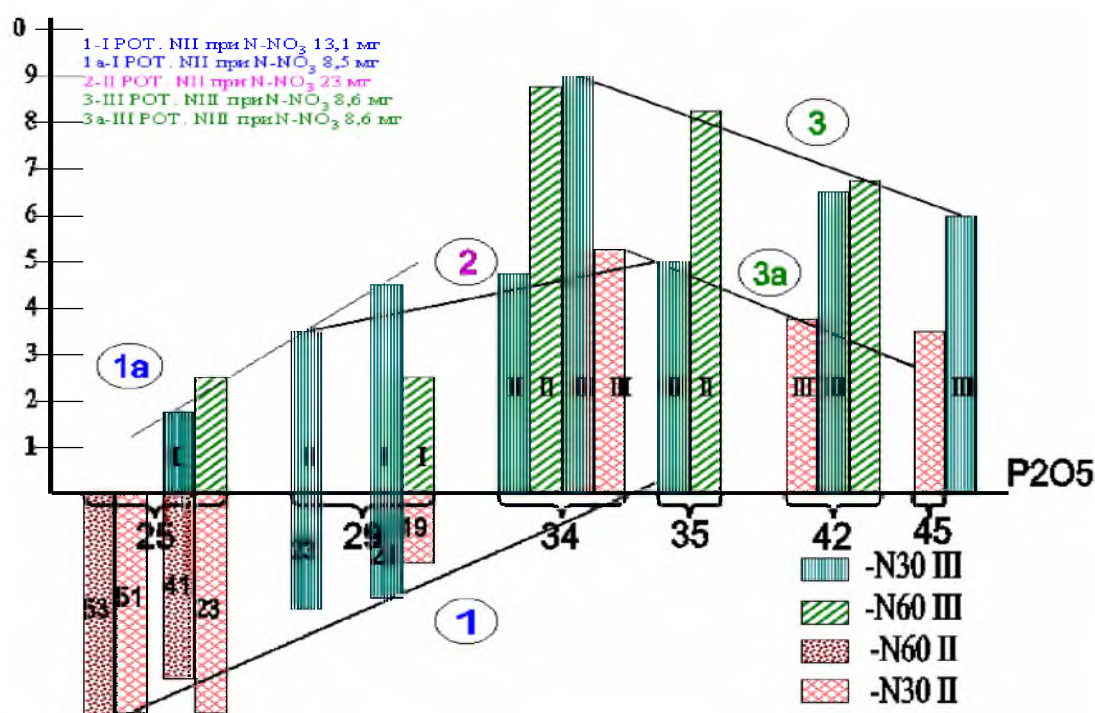


Рисунок 1 – Связь эффективности азотных удобрений (ц/га) с P_2O_5 в почве (мг/кг)

Все это указывает на то, что эффективность азотных удобрений зависит не только от содержания азота в почве, что естественно, но и содержания фосфора, их соотношения. Без учета этой связи невозможно предсказать реакцию растений на вносимые удобрения.

Не приемлем в условиях неустойчивого и недостаточного увлажнения, характерного для Северного Казахстана и ши-

роко применяемый в практике балансовый метод определения доз, в силу большого варьирования используемых в этом методе показателей.

Так, степень минерализации легкогидролизуемого азота в зависимости от гидротермических условий весны в наших исследованиях варьировала от 10 до 50% и более. Еще больше варьирование КИП по азоту нитратов и фосфору (таблица 1).

Как видно из таблицы, 40% случаев по фосфору приходится на коэффициент менее 10%. Но, что значит менее? Это и 3 и 9%, а разница в 3 раза. Легитимность этого

коэффициента 4%, не говоря уже о других.

Коэффициенты использования фосфора из удобрений видны из таблицы 2.

Таблица 1– Использование яровой пшеницей элементов питания из почвы, %

КИП N-NO ₃		КИП P ₂ O ₅	
% использования	% случаев	% использования	% случаев
<50	22	<10	40
51-75	29,6	11-20	18,5
75-100	15	21-30	29,6
100-150	26	>30	11,1
>150	7,4		

Таблица 2 – Коэффициент использования яровой пшеницей фосфора удобрений (КИУ), % (ср. за 3 ротации 5-ти польного зернопарового севооборота)

Внесено кг/д.в	1КПП(пш)		2КПП (пш)		3 КПП(пш)		4КПП (ячм)		За сево- обор.		Сред. не го- довое
	Макс мин	Ср.	Макс мин	Ср.	Макс мин	Ср.	Макс мин	Ср.	Макс мин	Ср.	
P ₃₀	<u>9,3</u> 2,7	6,0	<u>4,7</u> 0	1,3	<u>7,0</u> 0	3,0	<u>6,7</u> 2,6	4,6	<u>23,3</u> 7,5	16,8	4,2
P ₆₀	<u>8,5</u> 0,8	4,1	<u>2,2</u> 0,8	1,6	<u>3,7</u> 0,5	1,7	<u>6,8</u> 1,3	3,0	<u>17,7</u> 5,6	10,4	2,6
P ₉₀	<u>6,4</u> 1,3	4,0	<u>2,3</u> 1,0	1,4	<u>2,7</u> 0,4	1,3	<u>6,7</u> 1,3	3,0	<u>14,6</u> 4,1	8,9	2,2
P ₁₂₀	<u>5,1</u> 1,3	2,9	<u>3,2</u> 0,7	1,4	<u>2,4</u> 0	0,8	<u>1,3</u> 0,4	0,8	<u>9,9</u> 4,2	6,4	1,6

Приведенные в таблицах показатели говорят сами за себя и не нуждаются в интерпретации. В силу низкого коэффициента использования фосфорные удобрения оказывают длительное последствие и обогащают почву фосфором, повышая и потенциальное и эффективное плодородие.

Степень варьирования и КИУ настолько велика, что ни один из показателей, включаемых в расчет, не обладает легитимностью. Вынос азота 1 ц совокупной продукции пшеницы по годам, в зависимости от увлажнения и условий питания колебался по азоту от 1,8 до 5,6 кг на ц, по фосфору соответственно 0,4-1,3, по калию 1,0-4,6 или более чем в 3 раза.

Как это может повлиять на точность определения потребности в удобрениях видно из таблицы 3.

Из таблицы видно, что в зависимости от того, какой показатель (единственная цифра) будет поставлен в балансовую формулу доза азота на один и тот же урожай, на одном и том же поле может получиться от 40 до 120 кг на га, по фосфору и того больше от 40 до 500 кг, что может привести к непредсказуемым результатам. В то время как расчет, проведенный по разработанной нами методике показал, что объективно потребность яровой пшеницы в азоте составляла 30, а фосфора 150 кг д.в. на гектар.

Приведенное выше доказывает недопустимость использования при определении доз удобрений в условиях Северного Казахстана балансового метода определения доз удобрений, и других методов с использованием КИП и КИУ.

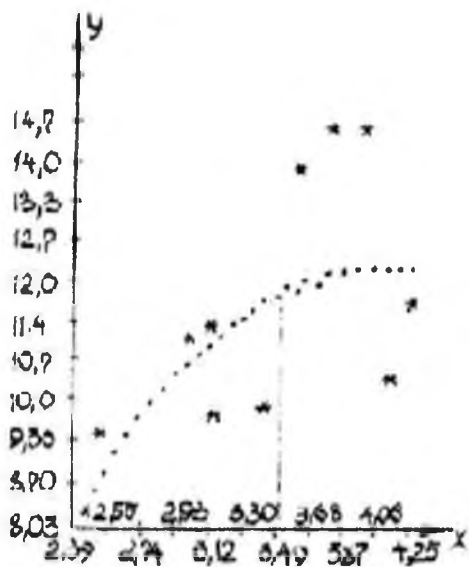
Таблица 3 – Дозы N, P удобрений с использованием различных критериев в балансовом расчете (исходные данные: урожайность 20 ц, N л/г в почве 40, P₂O₅ – 20 мг/кг почвы)

Показатели	Критерии			Справочные данные
	максимальный	минимальный	средний	
Вынос с 1ц пшеницы				
N	5,6	1,8	3,4	3,0
P	1,3	0,4	0,7	1,1
КИП N	50	10	30	30
P	30	10	20	10
КИУ N	50	20	35	60
P	9,3	0,4	5	15
Расчетные дозы: азота	104	120	91	40
фосфора	89	500	40	106

Наши исследования показали, что для управления плодородием почв и продуктивностью культур наряду с установлением основных факторов, определяющих продуктивность культур и эффективность удобрений необходимо установить количественную взаимосвязь факторов плодородия с урожайностью и эффективностью удобрений; выявить закономерности изменения плодородия почв под влиянием удобрений.

Нами установлено, что решающую роль в формировании урожая играют: содержание перед посевом пшеницы минерального азота - N-NO₃ в слое почвы 0-40см, подвижного

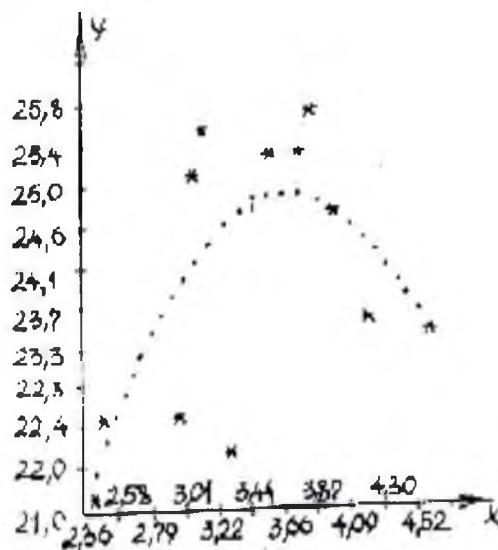
фосфора в слое 0-20 см, их соотношение и влагообеспеченность. Методом корреляционно-регрессионного анализа и другими методами математического анализа между факторами и урожайностью установлена не только качественная, но и количественная взаимосвязь, на основании которых определены оптимальные уровни их содержания в почве, обеспечивающие формирование максимальной, в складывающихся условиях увлажнения, урожайности яровой пшеницы, рисунок 2-5.



$$Y = 3,2 * 3,5x^2 * \text{EXP}(0,876x),$$

$$R = 0,73$$

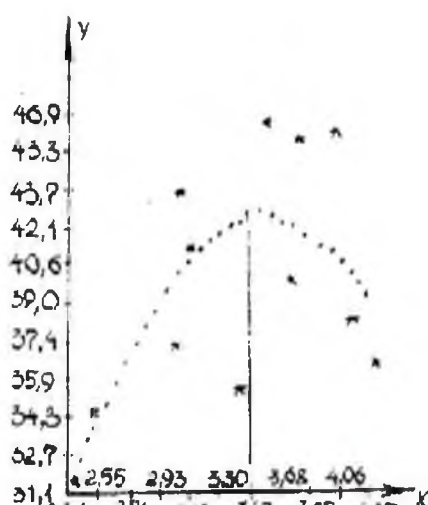
Рисунок 2 - Связь урожайности с содержанием P₂O₅, I КПП, острожасушливый год



$$Y = 2,09 + 14,9x - 2,05x^2,$$

$$R = 0,70$$

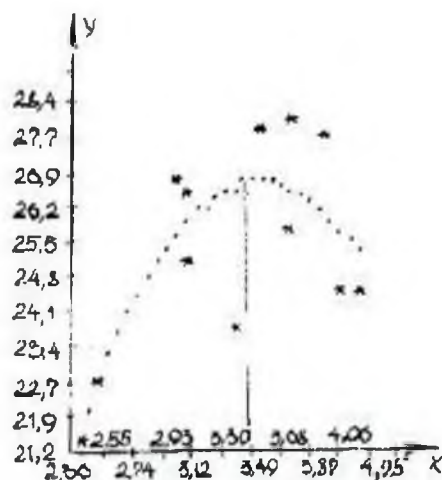
Рисунок 3- Связь урожайности II КПП с исходным содержанием P₂O₅ в почве, средний по увлажнению год



$$Y = 13,5 \cdot 4,48x^2 \cdot \text{EXP}(-1,28x),$$

$$R = 0,76$$

Рисунок 4 - Связь урожайности IV КПП (ячмень) с исходным содержанием P_2O_5 , влажный год



$$Y = A \cdot x^{2B} \cdot \text{EXP} \cdot CX,$$

$$R = 0,78$$

Рисунок 5 - Связь средней урожайности в севообороте с исходным содержанием P_2O_5

На рисунках 2-5 показана взаимосвязь урожайности с содержанием подвижного фосфора под культурами 5-ти полного зернопарового севооборота: пар, 3 пшеницы, ячмень. Этот севооборот интересен тем, что охватывает очень разные по увлажнению годы. Во все годы эта связь выражалась параболической кривой, коэффициент корреляции составлял 0,70-0,78.

Графическое изображение связи позволило объективно установить несколько очевидных и очень важных истин, которые заключаются в следующем:

- повышение содержания подвижного фосфора в почве сопровождается ростом урожайности, но до определенного предела насыщения почв фосфором;
- перенасыщение почв фосфором, сверх требуемого культурой оптимального уровня ведет к резкому снижению урожайности;
- оптимальный уровень содержания подвижного фосфора в почве для данной культуры или группы близких по биологии (в данном случае пшеница, ячмень) культур является величиной постоянной и определяется их биологическими особенностями;
- при создании оптимального уровня насыщения почв фосфором уровень уро-

жайности находится в линейной зависимости от обеспеченности влагой.

Оптимальный уровень содержания P_2O_5 в почве для яровой пшеницы и ячменя во все годы составлял 35 мг на кг почвы (для других культур другие показатели). Он позволяет раскрыть потенциальные возможности сорта в любых условиях увлажнения. Получать в засушливые годы не 5-6, а 11-12 ц/га, в средnezасушливые по увлажнению 25-30, благоприятные 35 и более ц пшеницы.

Из рисунка видно, что фосфорные удобрения в засушливые годы могут почти удваивать урожай. Во все годы наивысший урожай яровой пшеницы формировался при одном и том же содержании P_2O_5 в почве-35 мг/кг. Перенасыщение почв фосфором (свыше 40 мг/кг) резко снижает урожай. Как недостаток, так и избыток фосфора отрицательно влиял на урожайность.

Изучение оптимальных параметров агрохимических свойств почв для других культур (кукуруза, овес, гречиха, нут и др.) позволяет утверждать, что каждая культура в силу своих биологических особенностей требует определенного уровня насыщения почв фосфором, при котором она формиру-

ет потенциально возможный урожай в сложившихся условиях увлажнения.

Оптимальный режим питания обеспечивает наиболее рациональный и экономный расход влаги на единицу продукции: при низком уровне питания в среднем за 20 лет на 1 ц зерна потреблялось 20 мм. При среднем – 12, оптимальном всего 8 мм.

При достижении оптимального уровня содержания фосфора в почве урожай находится в линейной зависимости от влагообеспеченности;

Определение оптимального уровня содержания P_2O_5 в почве для исследуемой культуры и эквивалента затрат удобрений для повышения содержания P_2O_5 в почве на 1 мг позволяет с высокой точностью рассчитать дефицит и дозу фосфорных удобрений применительно к каждому полю и к конкретной культуре, используя простую, формулу:

$$Др \text{ кг/га} = (P_{\text{опт}} - P_{\text{факт}}) * 10,$$

Таблица 4 - Градация почв по содержанию P_2O_5 в слое 0-20 см и эффективность фосфорных удобрений

Класс обеспеченности	Показатель обеспеченности	Содержание P_2O_5 в слое 0-20 см, мг/кг	Эффективность удобрений	Фактич. эф-ть Р уд, %, ср. за 12 поле ротаций
I	Оч. низкая	До 15	Оч. высокая (30-50%)	-
II	Низкая	15-25	Высокая (20-30%)	24
III	Средняя	25-35	Средняя (10-20%)	13
IV	Повышен.	35-45	Низкая (5-10%)	6
V	Высокая	Более 45	Отсутствует	0

На основании полученных за 20-летний период экспериментальных данных проведена ранжировка урожайности по содержанию P_2O_5 в почве в различных условиях увлажнения и определён расход мг P_2O_5 на 1 ц зерна для различных по увлажнению лет (таблица 5). По таблице можно определить:

- уровень фосфора, до которого следует

где 10 - эквивалент кг P_2O_5 удобрений на 1 мг дефицита P_2O_5 в почве.

В этой формуле наиболее полно учтены биологические особенности культуры, ее требования к условиям почвенного питания и плодородию каждого поля с точностью до 1 мг

Проведенные исследования позволили также выявить несоответствие градаций Мачигина зональным особенностям. Как видно из графиков 2-5 ограничение P_2O_5 30 мг/кг почвы не позволяет культуре реализовать потенциальные возможности;

При содержании P_2O_5 на уровне 29-30 мг/кг (оптимальный уровень по Мачигну) фосфорные удобрения повышали урожайность на 14-17%,

На основании установленной количественной взаимосвязи между содержанием P_2O_5 в почве и эффективностью фосфорных удобрений за 3 ротации севооборота разработана шкала обеспеченности почв фосфором (таблица 4).

его довести, чтобы получить планируемый урожай;

- какой урожай можно получить, зная содержание P_2O_5 в почве;

- рассчитать дозу фосфорных удобрений на планируемую прибавку урожая;

- дозу можно рассчитать и по эквиваленту затрат мг P_2O_5 на 1 ц продукции ис-

ходя из показателя для средних по увлажнению лет.

Например: чтобы повысить урожайность на 5 ц надо повысить содержание фосфора в почве на 6 мг (5ц*1,2 мг P_2O_5), а для этого необходимо внести 60 кг д.в. удобрений (6*10).

Полученные результаты апробированы и на обыкновенных черноземах и получили полное подтверждение установленных на темно-каштановых почвах закономерностей.

Аналогично разработаны и методы диагностики условий азотного питания.

Разработанные нами приемы диагностики условий фосфорного питания и расчета доз удобрений с учетом индивидуального требования культур (оптимальные уровни) и содержания P_2O_5 в почве, исключают шаблон в использовании удобрений, обеспечивает наиболее точное и полное определение потребности в элементах питания, гарантирует экономическую эффективность и экологическую безопасность, недопуская перерасхода удобрений и перенасыщения почв фосфором.

Таблица 5 - Связь урожайности яровой пшеницы с содержанием P_2O_5 в почве

Содержание мг/кгпочвы	Урожайность, ц/га в годы		
	Очень сухие	Средние	Влажные
10	3-4	7-8	10-12
15	5-6	10-12	17-20
20	6-7	14-16	22-25
25	8-9	17-20	28-30
30	10	21-25	33-37
35	11-12	25-30	38-40
Расход мг P_2O_5 на 1ц урожая	3,0	1,2-1,4	0,8-1,2

Разработанные приемы управления и критерии качественной оценки плодородия почв являются принципиально новым методологическим подходом к целенаправленному управлению плодородием почв и продуктивностью культур.

Разработанные диагностические подходы к оптимизации условий почвенного питания позволяют и в жестких условиях возделывания зерновых культур поднять их продуктивность в 2-3раза.

Түйін

Бұл мақалада көпжылдық зерттеулердің негізгі нәтижелері берілген. Осы күндегі агрохимия саласындағы ең өзекті мәселелердің бірі - өсірілетін дақылдардың талаптарын еске ала отырып топырақ құнарлылығын басқару әдістерін жасау және топырақ қоректену жағдайының диагностикалық әдістерін жетілдірумен қатар потенциалдық мүмкіндіктері мен жоспарланған ең жоғары өнімін Солтүстік Қазақстанның топырақтарында қалыптасқан жергілікті жағдайларында алу.

Resume

In the given work the basic results of long-term researches of one of the major problems of agrochemistry - search of the most perfect methods of diagnostics of conditions of a soil nutrient and are submitted to development of receptions of purposeful management by fertility soil in view of the requirement of the cultivated cultures providing realization of its potential opportunities and reception of the greatest possible or planned crop in developing conditions of cultivation on soils of Northern Kazakhstan.