

Проблемы оптимизации калийного питания сельскохозяйственных культур в земледелии Украины

Христенко А.А. и Иванова С.Е.

На основе данных современных методов почвенной диагностики дана объективная экспертная оценка калийного состояния основных типов почв Украины, разработан его прогноз на перспективу, а также предложены методы, позволяющие наиболее точно оценить калийное состояние почв. Показана эффективность использования калийных удобрений на основных типах почв. Обоснована агрономическая и экономическая целесообразность расширения сферы использования калийных удобрений на тяжелых почвах степной зоны.

Как известно, применение калийных удобрений не только повышает урожайность культур, но и улучшает качество получаемой продукции: повышает крахмалистость и вкусовые качества картофеля, сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, накопление жира в семенах масличных культур, улучшает выполненность зерна злаковых культур. В этой связи интерес к проблеме калия в земледелии в последние годы возрастает не только в странах СНГ (Safoora Asadi, 2010; Bernardi A.C.C., Gimenez L.M., Machado P.L.O.A., 2011).

Эффективность использования калийных удобрений в земледелии Украины достаточно высока. Низкая прибавка урожая культур при их применении наблюдается лишь на почвах засушливой части степной зоны Украины (Носко Б.С., Прокошев В.В., 1999).

К сожалению, несмотря на эти факты, уровень применения калийных удобрений в последние годы резко упал. Если в 1986-1990 годах на гектар посевной площади с минеральными удобрениями вносилось 42 кг K_2O , то в настоящее время всего 8-11 кг K_2O , внесенных преимущественно в составе сложных удобрений.

Одна из причин такого спада — не совсем благоприятная социально-экономическая ситуация в стране. Кроме того, на наш взгляд, имеется еще один весомый фактор, определяющий данное явление — убежденность многих исследователей и земледельцев в том, что большинство почв тяжелого гранулометрического состава, хорошо обеспечены доступным растениям калием.

Многолетние исследования позволили прийти к выводу о том, что данное утверждение не вполне соответствует действительности. Одна из причин сложившегося ошибочного мнения кроется в несовершенстве почвенной диагностики и, как следствие этого, завышенной оценке калийного состояния тяжелых почв.

Исследования проводились в рамках совместного проекта ННЦ «ИПА имени А.Н. Соколовского» и Международного института питания растений (International Plant Nutrition Institute) 2011-2013 гг.

Цель проекта — установить закономерности калийного состояния почв Украины на основе данных современных методов почвенной диагностики и разработать рекомендации по эффективному использованию калийных удобрений.

Методика и объекты исследования

Для решения поставленной задачи использовались материалы, полученные в длительных полевых стационарных опытах, заложенных на черноземах — типичном и оподзоленном. Кроме того, в 2011 году на черноземе оподзоленном тяжелосуглинстом (Слобожанское опытное поле, Харьковский район, Харьковская обл.) был заложен 3-летний полевой опыт (2011-2013 гг.). Проводились лабораторные исследования, а также был проведен статистический анализ фондовых материалов отдела агрохимии ННЦ ИПА (Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н.Соколовского»). Кроме того, проведено обобщение и анализ материалов автоматизированной информационной базы данных и материалов агрохимической службы страны.

Территория Украины в направлении с северо-запада на юго-восток разделяется на три основные зоны: Украинское Полесье, Лесостепь и Степь. Природные зоны существенно различаются годовой суммой активных температур и количеством выпадающих осадков. Вследствие этого почвы по типологическому составу очень неоднородны.

Особенно большой неоднородностью характеризуются почвы Полесья вследствие широкого спектра условий почвообразования. В данной зоне с ГТКV-IX Селянинова = 1.1-1.5 преобладают песчаные и глинисто-песчаные дерново-подзолистые, дерновые оподзоленные и дерновые оглеенные типы почв.

Почвообразующей породой большей территории зоны Лесостепи с ГТКV-IX = 0.9-1.8 служат лессы и лесовидные суглинки, преимущественно суглинстого гранулометрического состава. Почвенный покров в зависимости от растительного покрова представлен преимущественно светло-серыми лесными, серыми лесными, темно-серыми оподзоленными, черноземами оподзоленными, черноземами типичными.

Зона Степи характеризуется такими гидротермическими показателями: Северная Степь — 0.68-0.69, Южная Степь — 0.61-0.67 и Сухая Степь — 0.45-0.60. То есть большинство культур выращиваемых в этой зоне, испытывают дефицит влаги: регионы имеющие коэффициент ГТКV-IX менее 0.8 уже можно отнести к зоне рискованного земледелия.

Преобладают черноземы обыкновенные, южные, темно-каштановые, каштановые солонцеватые почвы главным образом тяжелосуглинстого и глини-

стого гранулометрического состава (Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А., 2005).

Методы, позволяющие наиболее объективно оценить калийное состояние почв Украины

Установлено, что параллельное проведение химических анализов почв на основе разных нормативных документов часто приводит к получению противоречивой оценки обеспеченности почв калием.

Согласно данным “жестких” методов — кислотных или щелочных (стандарты СССР) — по мере утяжеления гранулометрического состава в направлении север-юг страны природная обеспеченность почв K_2O существенно возрастает. По данным солевого метода Дашевского (0.03% раствор $MgSO_4$) естественное содержание подвижного калия практически не зависит от природной зоны и типа почв и находится в пределах 0.7-1.1 мг $K_2O/100$ г почв (средняя обеспеченность).

Известно, что между данными определения K_2O в почве, получаемыми с помощью стандартов СССР (методы Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой и др.) и гранулометрическим составом почв (содержанием ила или физической глины) существует прямая зависимость, что часто ведет к искажению (завышению или занижению) реальной оценки калийного состояния почв (Христенко А.А., 2007; Прокошев В.В., Носов В.В., 2000). В этой связи стандартами Украины (ДСТУ) установлены нормы погрешности определения K_2O в зависимости от содержания физической глины и предложены соответствующие поправки.

Кроме того, стандартизированы солевые методы, в частности разработан стандарт на метод Дашевского (ДСТУ 7603). Необходимость разработки данного нормативного документа обусловлена тем, что результаты анализов почв по этому методу практически не зависят от значений их гранулометрического состава.

Прокошевым В.В. и Дерюгиним И.П. еще в 2000 году для метода Кирсанова были предложены группировка почв по содержанию подвижного калия с учетом гранулометрического состава (Прокошев, Дерюгин, 2000).

Сравнительная оценка точности методов показала, что применение метода Кирсанова (ГОСТ 26207) ведет к искусственному занижению оценки калийного состояния почв Украинского Полесья — 45 баллов (табл. 1). Это связано с тем, что почвы данной зоны, как правило, имеют легкий гранулометрический состав (менее 20 % физической глины), а исследования по разработке группировок обеспеченности калием (принятые и в Украине) явно проводились на более тяжелых почвах России.

Согласно математической модели, группировки для данного метода разрабатывались, вероятнее всего, на почвах, содержащих 42-46% физической глины. Отклонение количества физической глины

Таблица 1. Сравнительная оценка методов диагностики калийного состояния почв Украины (100 баллов - высшая точность).

Метод	Нормативный документ	Полесье	Лесостепь	Степь
Мачигина	ДСТУ 4114	-	120	140
Дашевского	Проект ДСТУ	100	100	110
Кирсанова	ГОСТ 26207	45	-	-
Кирсанова	ДСТУ 4405	70	-	-
Масловой	Проект ДСТУ	80	110	120
Чирикова	ГОСТ 26204	-	170	230
Чирикова	ДСТУ 4115	-	115	-

от этих значений на 1% автоматически искусственно завышает или занижает получаемые данные в среднем на 0.19 мг $K_2O/100$ г почвы.

Применение метода Чирикова (ГОСТ 26204) ведет к искусственному завышению оценки обеспеченности некарбонатных почв зоны Лесостепи калием (170 баллов) и особенно тяжелых почв Степи (230 баллов).

Точность оценки плодородия почв Украины при использовании ДСТУ 4405 (метод Кирсанова) и ДСТУ 4115 (метод Чирикова) в сравнении с соответствующими ГОСТами СССР несколько повышается. Тем не менее, на наш взгляд, получить объективную оценку калийного состояния почв при широком (на миллионах гектаров) применении “жестких” кислотных методов чрезвычайно сложно.

Экспертная оценка калийного состояния основных типов почв Украины на основе усовершенствованной системы почвенной диагностики

Средневзвешенные значения содержания P_2O_5 — 10.0 мг/100 г и K_2O — 11.2 мг/100г почвы (по данным последнего тура обследования) являются завышенными вследствие несовершенства методов анализа почв и некорректной методики обобщения данных (без учета изменившейся площади обследования). Если в 1966-1970 годах площадь обследования пашни составляла 30.9 млн. га, то в 2006-2010 годах — всего 24.8 млн. га.

Это привело к существенному завышению средневзвешенных показателей, полученных агрохимслужбой страны и способствовало появлению феномена «самопроизвольного повышения» содержания P_2O_5 или K_2O в почвах в условиях резко отрицательного баланса элементов питания в земледелии.

На основе данных, полученных с использованием национальной системы почвенной диагностики, и установленных закономерностей эволюции плодородия почв, можно с высокой степенью вероятности утверждать, что в настоящее время реальное средневзвешенное содержание подвижного фосфора и калия в пахотных почвах Украины составляет около 5.0 мг P_2O_5 и 6.0 мг $K_2O/100$ г почвы в пересчете на метод Чирикова.

Это объясняет хорошо известные эмпирические данные о высокой эффективности фосфорных и калийных удобрений на всех неокультуренных типах пахотных почв, в том числе черноземах (кроме почв,

нуждающихся в мелиоративном воздействии). Поэтому на всех неокультуренных почвах страны без применения соответствующих доз удобрений невозможно стабильно получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур нормативного качества продукции.

Согласно экспертной оценке, на данное время в почвах Украины содержится 0.8-1.0 мг/100г остаточного калия и 1.2-2.0 мг/100 г остаточного фосфора (средневзвешенное содержание). Это позволило в последние, относительно благоприятные по погодным условиям годы на фоне внесения N50P12K10 получать относительно высокие урожаи ряда сельскохозяйственных культур. Но данный трофический уровень и применяемые дозы удобрений не гарантируют стабильности урожая культур, а тем более, его дальнейшего роста.

Прогноз динамики калийного состояния почв Украины

В результате статистической обработки материалов агрохимической паспортизации земель сельскохозяйственного назначения, а также данных полевых опытов были получены уравнения регрессии, а на их основе и формулы, позволяющие рассчитывать значения изменений калийного состояния почв (содержания подвижного калия) в разрезе климатических зон и страны в целом.

Согласно прогнозу, ожидаемая динамика уровня плодородия почв Украины следующая. Впервые за последние 10-15 лет, в течение которых наблюдалось постоянное падение уровня обеспеченности почв калием, можно ожидать слабую тенденцию к повышению содержания в почвах подвижного калия. Ожидаемое повышение средневзвешенного его содержания за 15 лет применения удобрений (с 2005 по 2020 гг.) в целом по Украине составит всего +0.3 мг K_2O /100 г почвы.

То есть в большинстве почв Украины средневзвешенное содержание подвижных форм калия до 2020 года останется практически на уровне природного.

Эффективность калийных удобрений на почвах основных природных зон Украины

Известно, что при прочих равных условиях эффективность всех видов удобрений и особенно калия в Украине снижается от западных, более увлажненных, к восточным и юго-восточным, более засушливым провинциям.

По этой причине невысокая агрономическая эффективность калийных удобрений на черноземах обыкновенных, южных, темно-каштановых и каштановых почвах тяжелого гранулометрического состава степной зоны связана не с "хорошей" их обеспеченностью калием, а с недостатком влаги, характерным для зоны распространения данных почв.

Так, например, согласно полученной математической модели, при значении ГТКV-IX, соответству-

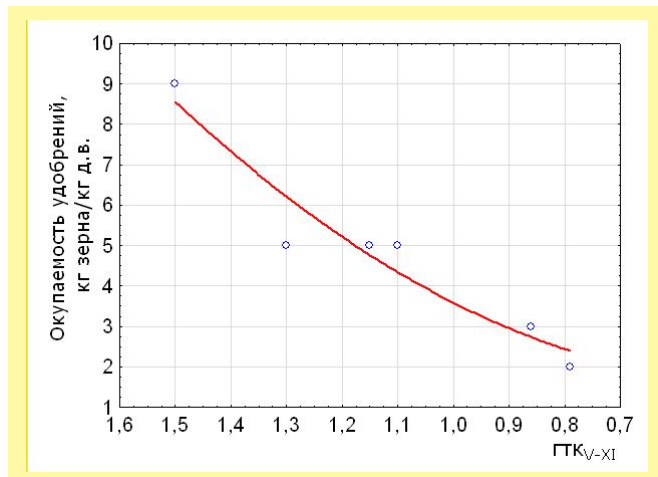


Рис. 1. Динамика окупаемости калийных удобрений (доза К60 на фоне NP) прибавкой урожая зерна кукурузы в направлении с северо-запада на юго-восток Украины

ющем коэффициенту, например, 1,6, окупаемость 1 кг K_2O удобрений составляет 9.9 кг зерна кукурузы, а при значении ГТКV-IX 0.95 – всего 3.3 кг зерна этой культуры (рис. 1).

Основное внесение калийных удобрений (под зяблевую вспашку) под приоритетные культуры (картофель, лен, озимая пшеница) эффективно на большинстве почв Украинского Полесья — 2.5 млн. га.

Основное внесение калийных удобрений (при условии высокой культуры земледелия) возможно в зоне Лесостепи на серых лесных почвах, темно-серых оподзоленных и черноземах оподзоленных (приоритетные культуры: сахарная свекла, озимая пшеница, кукуруза на зерно, рапс, картофель). Площадь пашни – 5.9 млн. га.

Как уже отмечалось, в условиях богары экономическая отдача от применения калийных удобрений на черноземах типичных (южная часть лесостепной зоны), обыкновенных и южных (зона Степи) значительно ниже, чем на почвах оподзоленного ряда.

В зоне Степи основное внесение калийных удобрений под большинство культур, как правило, нерентабельно.

Тем не менее, зная истинные причины низкой эффективности калийных удобрений в этой зоне, можно разработать приемы и способы, позволяющие существенно повысить агрохимический и экономический эффект от применения калийных удобрений.

Это прежде всего повышение уровня агротехники, широкое использование приемов, направленных на накопление и сохранение почвенной влаги, оптимизация азотно-фосфорного питания, точная диагностика плодородия почв, оптимизация способов внесения удобрений. Приоритетные культуры — озимая пшеница, кукуруза на зерно, рапс, подсолнечник.

В зоне Сухой Степи, на богаре (темно-каштановые почвы, каштановые солонцеватые, лугово-каштановые солонцеватые – около 3.2 млн. га) экономически оправдано внесение калия под озимые злаковые культуры только в небольших дозах в составе сложных удобрений под предпосевную культивацию или при посеве.

Закономерности влияния удобрений на урожай и качество выращиваемых сельскохозяйственных культур на черноземе оподзоленном Левобережной Лесостепи Украины

Исследования, проведенные на основе полевого опыта (2011-2013 гг.) на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом показали высокую эффективность, а также экономическую целесообразность применения калийных удобрений на данной почве. Установлено, что оптимизация азотно-фосфорного питания растений позволяет существенно повысить отдачу от применения калийных удобрений.

Разработаны математические модели зависимости урожая зеленой массы кукурузы, зерна яровой пшеницы и корнеплодов сахарной свеклы от доз и соотношений калийных и азотно-фосфорных удобрений.

Так, например, зависимость урожая корнеплодов сахарной свеклы от доз и соотношений калийных и азотно-фосфорных удобрений описывается следующим уравнением:

$$Z = 238.68 - 0.022X + 0.17Y + 0.001X^2 + 0.002XY + 0.003Y^2$$

где Z – урожайность, ц/га, X – доза K_2O , кг/га, Y – доза N и P_2O_5 , кг/га

Согласно модели получение максимального урожая может быть достигнуто вследствие сочетания разных доз и видов макроудобрений. В данном опыте для этого необходимо было внести 40 кг K_2O /га и по 105 кг N и P_2O_5 /га, или 50 кг K_2O /га и по 100 кг N и P_2O_5 /га, либо 70 кг K_2O /га и по 90 кг N и P_2O_5 /га (рис. 2).

Локализация внесения калийных удобрений под предпосевную культивацию резко повышает эффективность применения калийных удобрений: в засушливых условиях 2011 года наивысший эффект как по урожайности корнеплодов сахарной свеклы, так и по

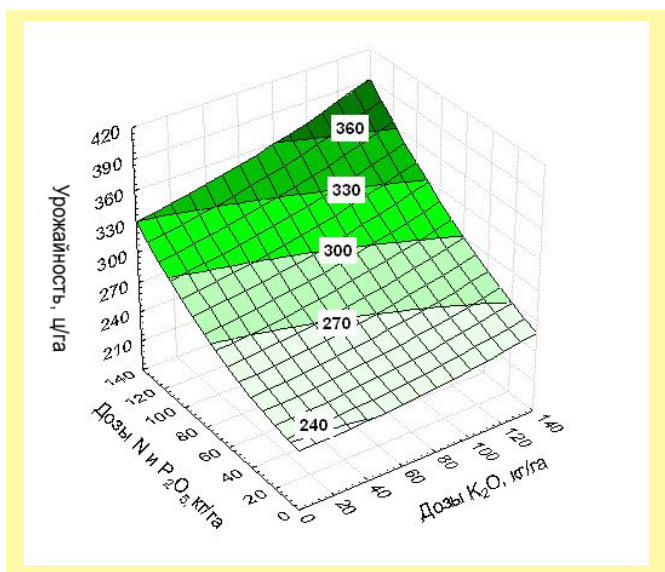


Рис.2. Зависимость урожая корнеплодов сахарной свеклы от доз калийных удобрений и оптимизации азотно-фосфорного питания

выходу сахара был получен именно при этом способе внесения. Локализация внесения удобрений под кукурузу на силос на 14-18% повышала урожайность этой культуры в сравнении с разбросным внесением.

Под воздействием внесения калийных удобрений отмечена четкая тенденция к увеличению сахаристости корнеплодов:

$$Y = 18.706 + 0.0014X$$

где Y – содержание сахара в корнеплодах, %, X – доза K_2O , кг/га

За счет влияния этого фактора, а также в результате увеличения урожайности выход сахара на вариантах с внесением калийных удобрений существенно возрастал.

Экономическая эффективность применения удобрений на черноземах Левобережной Лесостепи Украины

Согласно полученному уравнению регрессии, наибольший эффект достигнут вследствие применения минеральных удобрений на черноземе оподзоленном под кукурузу на зеленую массу в дозе $N90P90K40$.

Опыт, проведенный в 2011 году на черноземе типичном тяжелосуглинистом, показал, что основное внесение азотно-фосфорно-калийных удобрений в больших дозах под сахарную свеклу ($N120P120K120$) нерентабельно.

В опыте на черноземе оподзоленном, характеризующемся более благоприятным водным режимом, внесение калийных удобрений по фону NP (по 60 и 120 кг/га соответственно) существенно повысило прирост урожая корнеплодов сахарной свеклы и улучшило экономические показатели.

В данном опыте наибольший экономический эффект достигался при внесении калийных удобрений под сахарную свеклу в дозе $K60-90$ на фоне $N60P60$, где рентабельность достигала 73%. На вариантах с внесением калийных удобрений в дозе $K90-120$ на фоне $N120P120$ себестоимость получаемой продукции существенно возрастала.

Результаты исследований по данному проекту позволили аргументированно обосновать агрономическую и экономическую целесообразность расширения зоны использования калийных удобрений. Только в Украине эта дополнительная площадь составляет более 5 млн. га.

В рамках проекта разработаны рекомендации по рациональному и эффективному использованию калийных удобрений на почвах Украины (Христенко А.А, Мирошниченко Н.Н, Гладких Е.Ю., 2013).

В рекомендациях отмечено, что важнейшим условием эффективного применения удобрений является безусловное соблюдение концепции "4-х правил" (4R Nutrient Stewardship) принятой земледельцами многих стран мира.

При разработке системы удобрения, распределении удобрений и расчета их доз предложено учитывать следующие факторы: приоритетность удоб-

рения культур; фактический уровень плодородия почв и соотношение подвижных форм элементов питания в почве; достигнутый уровень культуры земледелия и среднюю многолетнюю урожайность сельскохозяйственных культур; состав и свойства почв; рельеф местности; особенности современных технологий внесения удобрений.

Христенко А.А. — кандидат. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела агрохимии, Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского». Харьков, Украина; e-mail: khristenko.an@mail.ru

Иванова С.Е.- кандидат биологических наук, вице-президент Международного Института Питания Растений по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку. e-mail: sivanova@iprni.net

Литература

Safoora Asadi. Influence of different potassium fertilizer sources on sunflower production: 19th World Congress of Soil Science, Soil

Solutions for a Changing World, 1 – 6 August 2010, Brisbane – Australia, 2010. – P. 16–18.

Bernardi A.C.C., Gimenez L.M., Machado P.L.O.A. Variable-Rate Application (VRA) of potassium fertilization for soybean in Brazil // *Electronic International Fertilizer Correspondent. Quarterly correspondent from IPI. International potash institute.* – e-ifc No. 27, June 2011. – P. 14–18.

Носко Б.С., Прокошев В.В. Калійні добрива в землеробстві України. -М: Міжнародний інститут калію, 1999. -55 с.

Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. – К.: Колообіг, 2005. – 304 с.

Христенко А.А. Оценка химических методов определения содержания подвижного калия в почвах // *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тематичн. наук. зб.* 2007. -Вип. 67. -С.90-98.

Прокошев В.В., Носов В.В. Теоретические и практические аспекты исследования некоторых методов определения калия в почве // *Почва — удобрение — плодородие.* — Минск: БелНИИПА, 2000. -С.92-98.

Христенко А.А, Мирошниченко Н.Н, Гладких Е.Ю. Рекомендации по эффективному использованию калийных удобрений на почвах Украины. — Харьков, 2013.- 36 с.

Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. 2000. Калий и калийные удобрения. М.: «Ледум», 185 с.

Отзывчивость кукурузы на калийные удобрения в южной зоне Ростовской области

Носов В.В., Бирюкова О.А. и Божков Д.В.

В краткосрочных полевых опытах, проведенных на черноземе обыкновенном с повышенной обеспеченностью подвижными формами калия, потребность во внесении калийных удобрений под кукурузу существенно возросла при формировании максимальной продуктивности данной культуры. Коэффициент использования калия растениями кукурузы из внесенных в повышенной дозе калийных удобрений в среднем за 5 лет исследований составил 41%.

Кукуруза – калиелюбивая культура, предъявляющая повышенные требования к уровню обеспеченности почв доступными для растений формами калия. Работы, проведенные на юге России, свидетельствуют о том, что калийному питанию кукурузы должно уделяться большее внимание (Шмалько и Багринцева, 2007; Турчин, 2007; Иванова и др., 2015). За последние 5 лет в Ростовской области в сельхозорганизациях (без учета микропредприятий) под кукурузу в среднем вносилось 3 кг K_2O /га (РОССТАТ, 2016), то есть условия калийного питания данной культуры в регионе зависят исключительно от почвенных резервов калия.

Нами была изучена эффективность применения калийных удобрений под кукурузу в серии однолетних полевых опытов, которые проводились в Целинском районе Ростовской области в течение 5-ти лет (2011-15 гг.). В 2011-2014 гг. выращивался гибрид Фурио, а в 2015 г. – гибрид П9175. Исследования проводились на черноземе обыкновенном со слабощелочной реакцией среды, низким содержанием гумуса, а также средним и повышенным содержанием подвижных форм фосфора и калия соответственно (метод Мачигина). Содержание обменного калия было

очень высоким и составило 426-466 мг K_2O /кг почвы (метод Масловой). Исходная агрохимическая характеристика почвы представлена в **табл. 1**.

Минеральные удобрения вносились под предпосевную культивацию. Кроме того, в рассматриваемых в данной статье вариантах опытов с внесением удобрений проводилась обработка семян сульфатом цинка. Изучались несколько повышенные дозы минеральных удобрений, чтобы исключить недостаток азота, фосфора и калия у растений. Условия проведе-

Таблица 1. Исходная агрохимическая характеристика чернозема обыкновенного.

Гумус (2011 г.), %	3.22
pH (H_2O)	7.68 – 7.85
$N-NH_4$, мг/кг почвы	14.3 – 20.3
$N-NO_3$, мг/кг почвы	8.0 – 15.9
Подвижный P (метод Мачигина), мг P_2O_5 /кг почвы	22.0 – 26.5
Подвижный K (метод Мачигина), мг K_2O /кг почвы	306 – 395
Обменный K (метод Масловой), мг K_2O /кг почвы	426 – 466

Примечание: Приведены средневзвешенные величины для слоя почвы 0-20 см (исходя из результатов анализа для слоев 0-5, 5-10 и 10-20 см).