

Внутрипольная изменчивость показателей плодородия южного чернозёма в предгорном Крыму

А.М. Изотов, д.с.-х.н., профессор, Б.А. Тарасенко, к.с.-х.н., Д.П. Дударев, к.с.-х.н., З.А. Изотова, к.э.н., ФГАОУ ВО Крымский ФУ

Развитие отрасли растениеводства в условиях Крыма должно опираться на широкое применение наукоёмких технологий выращивания полевых культур, которые не только обеспечивают высокую

экономическую эффективность, но и минимизируют вредное воздействие на природу [1]. Этому направлению в наибольшей степени соответствуют адаптивно-ландшафтные точные агротехнологии [2]. Адаптивное применение минеральных удобрений и средств защиты растений, решая задачу высокой эффективности, исключает их локальную

передозировку и способствует снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Фосфор и калий занимают значительное место среди факторов минерального питания растений. Как известно, распространённые методы расчёта доз калийных и фосфорных удобрений требуют учитывать обеспеченность почв подвижными формами этих элементов. В аспекте особенностей точных (координатных) агротехнологий особенно важной задачей является детальная почвенная диагностика и картирование внутривольного пространственного распределения содержания подвижного фосфора и обменного калия. В свою очередь, окупаемость затрат на такое картирование будет во многом зависеть от обобщённых уровней содержания подвижных форм P_2O_5 и K_2O в почве и степени их локальной неоднородности в пределах отдельно взятого поля. Внутривольные различия содержания этих элементов, достаточные для пространственной коррекции доз фосфора и калия, свидетельствуют в пользу точной технологии основного внесения минеральных удобрений. Для оценки перспектив такой технологии в условиях Крыма целесообразно изучить внутривольную неоднородность содержания подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое распространённых на полуострове почв.

Материал и методы исследования. Объектом исследования является распространённая в предгорном и степном Крыму почва – чернозём южный малогумусный мицеллярно-карбонатный на красно-бурых плейстоценовых глинах. Исследование проводилось в Симферопольском районе на участке поля площадью 6,8 га. Пробы для почвенной диагностики отбирали тростевым буром до глубины 20 см на регулярно расположенных квадратных площадках со стороной 20 м. В пределах каждой площадки отбирали и объединяли для анализа по 10 точечных проб. Координаты площадок фиксировали с помощью спутникового навигатора. Всего таким образом была обследована 171 элементарная площадка. Содержание подвижного фосфора и обменного калия в объединённых пробах почвы определяли по Мачигину [3, 4].

Результаты исследования. В пределах обследованного участка выявлена существенная изменчивость обеспеченности почвы обменным калием и подвижным фосфором (табл. 1).

Пространственное варьирование содержания подвижных фосфатов в пахотном слое было почти в три раза выше, чем содержания обменного калия. Их размах колебаний в своих пределах соответствовал изменению уровней обеспеченности почвы фосфором от очень низкого до высокого и калием от очень низкого до среднего [5]. Такое положение предполагает значительную коррекцию доз внесения фосфорных и калийных туков. В частности, в сложившихся условиях обеспеченности почвы обследованного участка под-

1. Сводка анализа сопряжённых вариационных рядов содержания подвижных фосфатов (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) в пахотном слое почвы

Показатель	Содержание, мг на 100 г почвы	
	P_2O_5	K_2O
Среднее	1,07	13,82
Стандартное отклонение	0,605	2,664
Коэффициент вариации	0,56	0,19
Минимум	0,4	10
Максимум	3,8	25
Размах	3,4	15
Стандартизованная асимметрия	9,540	8,266
Стандартизованный эксцесс	10,977	8,402

вижными фосфатами поправочный коэффициент для фосфорных удобрений изменяется от нуля при высокой обеспеченности, когда потребность в основном внесении фосфора отсутствует, до 1,5 для низкого уровня, когда расчётную дозу следует увеличить на 50%.

Определённый интерес представляют стандартизованные значения асимметрии и эксцесса. Их величина значительно, в четыре – пять раз, превышает допустимые пределы для нормального распределения (диапазон от – 2 до +2). В исследуемой выборке распределение частот значений подвижных фосфатов существенно отличается от нормального закона (рис. 1).

Для него характерна выраженная асимметрия с группировкой ядра частот в зоне низкой и очень низкой обеспеченности подвижными фосфатами и наличием длинного правого хвоста, простирающегося вплоть до области их высоких значений. Распределение частот содержания обменного калия в почве также асимметрично (рис. 2).

В этом случае асимметрия несколько смягчена по сравнению с распределением фосфатов. В то же время при наличии выраженного положительного эксцесса она обуславливает принципиальное отличие фактического распределения частот обменного калия от теоретического распределения Гаусса.

Такое положение может быть основанием для сомнения в применимости многих параметрических оценок и статистических процедур при анализе таких данных и потребности в их предварительных преобразованиях для нормализации распределений. Для обобщающей оценки вариационных рядов со значительной правосторонней асимметрией считается целесообразным использовать не среднее арифметическое, а медиану или среднее геометрическое значение. Вместе с тем если применительно к обсуждаемым данным содержания обменного калия различие между этими видами средних величин едва превышало 1,6%, то в случае вариационного ряда содержания подвижного фосфора в пахотном слое оно составило вполне существенную величину – 12,2% (табл. 2).

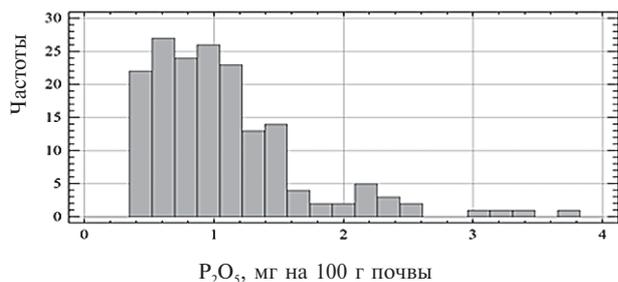


Рис. 1 – Гистограмма распределения частот содержания подвижных фосфатов в слое почвы 0–20 см

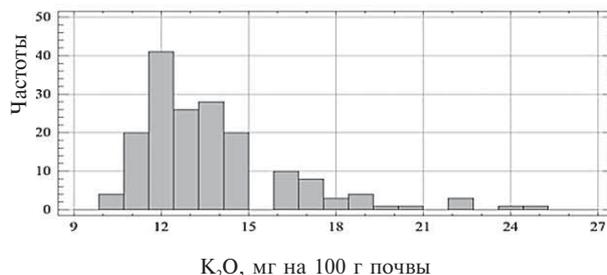


Рис. 2 – Гистограмма распределения частот содержания обменного калия в слое почвы 0–20 см

Следовательно, для обобщения рассматриваемых данных по содержанию фосфора целесообразно использовать среднее геометрическое значение.

2. Показатели вариационных рядов содержания подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) в пахотном слое почвы, мг на 100 г почвы

Показатель	P_2O_5	K_2O
Среднее арифметическое	1,07	13,82
Среднее геометрическое	0,94	13,60
Медиана	0,90	13,00
Нижний квартиль	0,6	12,0
Верхний квартиль	1,3	15,0
Межквартильный размах	0,7	3,0

Особенности вариационного ряда содержания подвижных фосфатов в пахотном слое южного чернозёма в компактном виде представлены на блочной диаграмме (рис. 3).

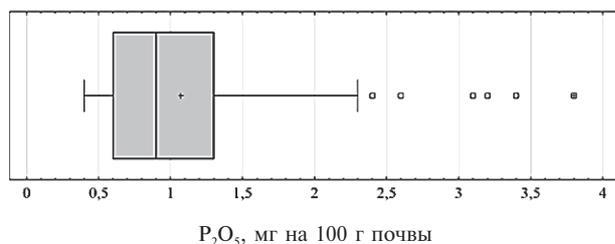


Рис. 3 – Вариационный ряд содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы обследованного участка

По рисунку 3 видно, что ядро вариационного ряда – «ящик» диаграммы, составляющее половину всего объёма выборки, сосредоточено в области низкой и очень низкой обеспеченности почвы доступным фосфором. Разница между его пределами, равная межквартильному размаху (табл. 2), превышает значимую для нормативного метода величину – 0,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы, учитываемую при коррекции расчётной дозы фосфорных туков [5]. В соответствии с этим методом для одной части ядра вариационного ряда, лежащей от 1 мг P_2O_5 и выше, поправочный коэффициент на обеспеченность почвы фосфатами будет равен единице и расчётная норма

удобрения останется без изменений. Для другой части, расположенной ниже этой границы, её следует увеличить в 1,5 раза. Следует отметить, что в этом случае при обобщении всего объёма данных содержания P_2O_5 на средние арифметическую и геометрическую будут получены принципиально разные значения поправочного коэффициента. Статистически значимая выборка, составляющая более 95% наблюдений, ограниченная «усами» диаграммы, находится в пределах содержания P_2O_5 от 0,6 до 2,3 мг на 100 г почвы. Для её части в пределах от 1,6 до 2,0 мг P_2O_5 поправочный коэффициент для доз фосфорных туков равен 0,8, а сверх этого предела – 0,6. Следовательно, для обследованного участка поля с ограниченными размерами в соответствии с основным массивом данных обеспеченности почвы подвижными фосфатами дозы внесения фосфорных туков следует корректировать в пределах от 60 до 150% от расчётных значений. С учётом выбросов, имеющихся в исходных данных (обозначены на диаграмме квадратными маркерами), пределы коррекции доз фосфатов расширятся в сторону их снижения – от внесения 40% в интервале до 3,0 мг P_2O_5 до нуля при обеспеченности почвы выше этого предела. Подобная закономерность варьирования характерна и для ряда данных содержания обменного калия в почве (рис. 4).

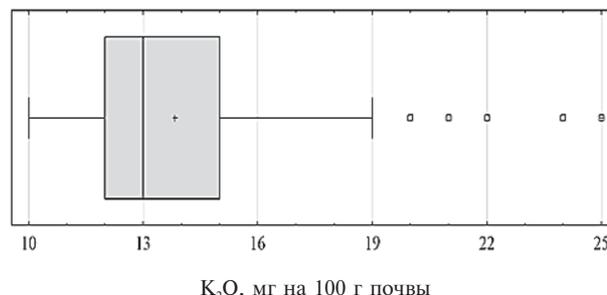


Рис. 4 – Вариационный ряд содержания обменного калия в пахотном слое почвы обследованного участка

В этом случае половина вариационного ряда находится в пределах содержания обменного калия от 12 до 15 мг K_2O на 100 г почвы при межквартильном размахе 3 мг. Статистически значимая

выборка лежит в границах от 10 до 19 мг. Серия выбросов простирается до значений 25 мг K_2O на 100 г почвы. Такая неоднородность обеспеченности почвы обследованного участка также вызывает объективную необходимость пространственной коррекции доз калийных удобрений.

Следует отметить, что в исходных данных распределений обеспеченности почвы подвижными формами фосфатов и обменным калием наблюдалась заметная взаимосвязь, когда низким значениям одного показателя плодородия соответствовали преимущественно низкие значения другого (рис. 5).

Анализ этой совокупности выявил статистически существенную прямую корреляцию средней интенсивности ($r = 0,676$) между значениями обеспеченности почвы доступными формами фосфора и калия, статистически значимую с высокой степенью ответственности ($P < 0,0001$). По нашему мнению, эту связь не следует трактовать как наличие зависимости между содержанием фосфора и калия, она, по всей вероятности, обусловлена действием на эти показатели третьего фактора, предположительно характеризующего распределение гумуса с входящими в него органо-минеральными образованиями.

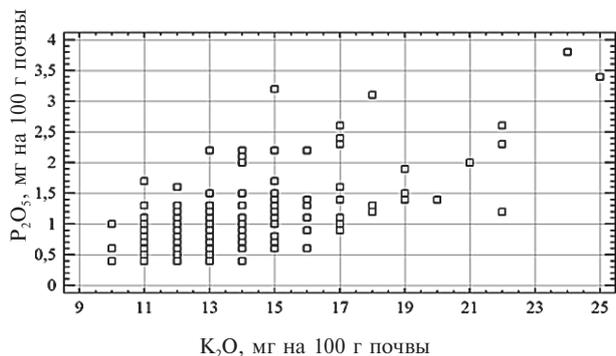


Рис. 5 – Рассеяние совместного распределения содержания обменного калия и подвижного фосфора в исследуемых образцах почвы

Исходя из наличия существенной корреляции обеспеченности почвы фосфором и калием определённый интерес представляет изучение их сочетаний в полученных пробах. Для упорядочивания одновременно по двум показателям плодородия имеющегося набора проб в сравнительно однородные группы использовался метод кластерного анализа [6]. Его проводили в пространстве двух переменных: содержания в почве подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O). В качестве меры различий между пробами была выбрана метрика квадрата евклидова расстояния. Для агломерации кластеров использовали метод Уорда. В результате анализа было выделено семь обособленных и сравнительно однородных по внутреннему составу кластеров (рис. 6).

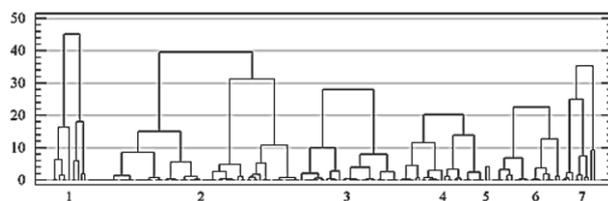


Рис. 6 – Дендрограмма результатов кластеризации 171 образца почвы по содержанию подвижного фосфора и обменного калия

Так, дистанция между элементами внутри большинства кластеров находится в пределах от 20 до 45 единиц квадратов евклидова расстояния стандартизированных значений P_2O_5 и K_2O . Исключение составляет малонаселённый 5-й кластер, представленный выбросами обоих изучаемых показателей. Дистанция между его элементами не превышает пяти единиц указанной метрики. Результаты кластеризации целесообразно рассмотреть на двумерном графике в пространстве содержания обменного калия и подвижного фосфора (рис. 7).

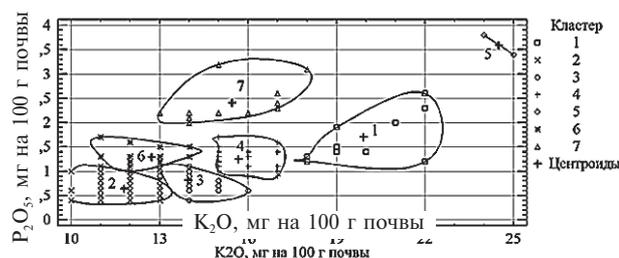


Рис. 7 – Кластеры почвенных проб по обеспеченности подвижным фосфором и обменным калием

2-й и 3-й кластеры находятся в зоне низкой обеспеченности подвижным фосфором и обменным калием, занимая более 57% площади обследованного участка. Для обеспечения плановой урожайности озимой пшеницы или озимого ячменя на этих участках необходимы максимальные дозы фосфорно-калийных удобрений (табл. 3).

3. Характеристика кластеров обеспеченности почвы обследованного участка доступным фосфором и калием

Кластер	Содержание, мг на 100 г почвы		Доза удобрения под урожайность зерна 50 ц/га, кг/га д.в.		Площадь, га
	P_2O_5	K_2O	фосфорного	калийного	
1	1,7	19,9	44	52	0,43
2	0,6	11,8	83	105	2,64
3	0,8	14,0	83	105	1,22
4	1,3	15,7	55	52	1,07
5	3,6	24,5	0	0	0,08
6	1,3	12,7	55	105	0,87
7	2,4	15,5	33	52	0,43

По данным центроидов 4-го и 6-го кластеров (27% площади) требуются средние дозы туков, а для 1-го и 7-го (13% участка) – пониженные от 20 до 40%. И на площади менее 0,1 га применение фосфорно-калийных удобрений нецелесообразно.

Выводы. Обследованный участок типичной для предгорно-степной части Крыма почвы – чернозёма южного малогумусного характеризуется значительной пространственной неоднородностью обеспеченности слоя 0–20 см подвижным фосфором и обменным калием. Плотность распределения частот варьирования этих показателей имеет выраженную правостороннюю асимметрию и близка к логарифмически нормальной. Пределы колебаний перекрывают значения от очень низкой до высокой обеспеченности почвы этими элементами питания растений. Вследствие этого более чем на 70% площади участка дозы фосфора должны быть скорректированы в сторону увеличения до 50% или в сторону снижения до 40%. Применение

пространственно координированной технологии внесения минеральных удобрений перспективно для условий Крыма.

Литература

1. Изотов А.М. Современные технологии в растениеводстве Крыма // Научные труды Южного филиала «Крымский агротехнологический университет» НАУ: Сельскохозяйственные науки. Симферополь, 2007. Вып. 100. С. 3–7.
2. Николаев Е.В., Изотов А.М., Тарасенко Б.А. Адаптивные технологии – основное направление развития растениеводства // Наукові праці ПФ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Симферополь: ФОП Бражнікова, 2012. Вип. 149. С. 5–13.
3. Агротехнические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
4. Мандель Е.В., Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. 3-е изд. М.: Изд. Московск. универ., 1970. 488 с.
5. Гапиенко А.А., Колянда Н.К., Сычевский М.Е. Система применения удобрений // Научно обоснованная система земледелия Республики Крым. Симферополь: Таврида, 1994. С. 27–36.
6. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.