

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

С.А. Фирсов, к.с.-х.н., ГЦАС «Тверской», С.С. Фирсов, Тверская ГСХА

Приведены результаты обработки данных агрохимического обследования дерново-подзолистых почв и выявлена зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от параметров плодородия почв: уровня кислотности и содержания подвижного фосфора.

Ключевые слова: плодородие почв, кислотность среды, содержание подвижного фосфора, регрессионная модель, окупаемость затрат.

В условиях вступления России в ВТО необходима разработка научных энерго-ресурсосберегающих приёмов повышения плодородия почв и получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Особенно актуально это в современных условиях экономического кризиса и импортозамещения продукции. Тверская область в этом плане перспективна и обладает условиями для создания и развития эффективного аграрного производства. Поэтому на почвах земель сельскохозяйственного назначения проведена оценка основных параметров плодородия. На основе этого можно строить стратегию развития сельскохозяйственного производства области, основной задачей которой является повышение конкурентоспособности растениеводческой продукции [1, 3].

Наличие обширных площадей почв с избыточной кислотностью в Тверской области - одна из главных причин низкой продуктивности сельскохозяйственных культур и ряда отрицательных экономических и экологических последствий. Устойчивое земледелие на низкоплодородных почвах возможно только в условиях известкования и достаточной обеспеченности питательными веществами [2, 4].

Анализ результатов динамики изменения уровня кислотности почв области показал, что её характер соответствует общим тенденциям в Центральном экономическом районе и в целом в Российской Федерации: в связи с почти полностью прекратившимся известкованием почв нарастает процесс их подкисления (рис. 1).

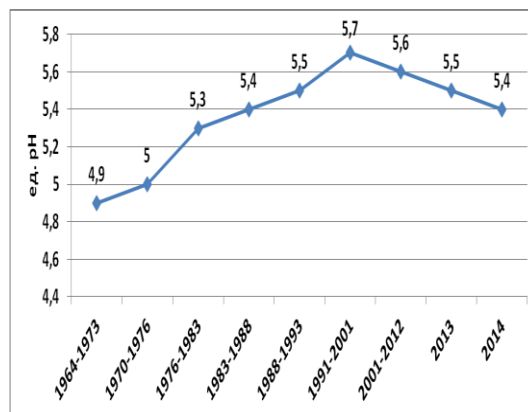


Рис. 1. Динамика средневзвешенного показателя кислотности почв ($pH_{ср}$)

Однако темпы подкисления невелики. Причин стабилизации реакции среды на уровне pH 5,4-5,6 несколько. К ним относится и то, что сокращение площадей пахотных угодий во всех районах идет в основном за счет низкоплодородных, а значит и наиболее кислых почв, что снижает долю таких почв в общем объеме. Большое значение имеет и продолжительность последствий известковых удобрений.

Обработка большого количества результатов анализа почвенных образцов при сплошном агрохимическом обследовании дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава показала, что в интервале $pH_{ср}$ 4,4-5,6 зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур, в большей степени зерновых, имеет прямолинейный характер. При $pH_{ср}$ от 5,8 и выше зависимость формирования продуктивности культур от уровня кислотности среды уже не носит прямолинейный характер. Окупаемость минеральных удобрений зерном в условиях известкования при pH 5,6–6,0 на дерново-подзолистых почвах составляет 5,8 кг зерна на 1 кг удобрений.

В Тверской области в условиях известкования длительное время сдерживалось применение фосфорных удобрений, главным образом фосфоритной муки, из опасений отрицательного действия на ее эффективность $CaCO_3$ и нейтрализации кислотности, являющейся одним из основных факторов перехода труднорастворимых фосфатов кальция в доступное для растений состояние. Однако, как показала многолетняя практика, вследствие сохраняющейся в произвесткованных почвах очаговой кислотности, ее действие

на улучшение фосфатного режима и продуктивность растений не снижается [5].

Результаты турового мониторинга свидетельствуют, что на пахотных почвах при внесении известняковой и фосфоритной муки происходил практически нормативный сдвиг pH_{KCl} от известкования. Это позволяет заключить, что на дерново-подзолистых почвах фосфоритная мука не оказывает нейтрализующего почвенную кислотность действия, даже при внесении ее в сравнительно высоких дозах - 1,5-2,5 т/га.

Исследование динамики подвижного фосфора за последние 10 лет показало, что средневзвешенное содержание его в почвах области возросло с 134 до 144 мг/кг и, согласно грациям обеспеченности почв, характеризуется повышенным уровнем.

Следует отметить, что динамика кислотности почв, их обеспеченности подвижным фосфором по отдельным районам существенно отличается от усредненных величин этих показателей, ещё большие колебания наблюдаются по отдельным хозяйствам внутри района.

Для оценки уровня эффективного плодородия почв были проанализированы результаты мониторинга по хозяйствам отдельных районов области. На примере Зубцовского района видно, что ранжируя площади пахотных почв различных хозяйств по величине показателя pH, содержанию подвижного фосфора и обменного калия, можно определить экономически целесообразный уровень затрат, необходимый для достижения благоприятных значений показателей, обеспечивающих максимальную продуктивность пахотных земель.

Для анализа выделили пять групп. Принципом деления на группы является, в первую очередь, экономическая целесообразность использования сложившегося в настоящее время уровня плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. В первую группу включены почвы земель хозяйств, имеющие высокие значения основных агрохимических параметров, которые характеризуют достаточную обеспеченность почв основными элементами питания. В связи с этим, они могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве без затрат на обязательное внесение минеральных удобрений и химических мелиорантов. Под дополнительными затратами подразумевается внесение традиционных органических и минеральных удобрений, применение пестицидов [6, 7]. Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур обеспечивается в основном за счет плодородия почв, а также различных технологических приемов, основными принципами которых являются:

- обеспечение растений азотным питанием за счет максимального использования биологического азота - симбиотической, ассоциативной азотфиксации;
- ведение севооборота с обязательным включением многолетних трав с преобладанием бобовых компонентов, что также способствует снижению энергоемкости производства [8, 9].

Доля таких почв составляет около 25% площади пахотного фонда района. Несколько менее благополучны угодья второй группы, составляющие 13,5%. В третью, четвертую и пятую группы включены площади почв, которые без вложения определенных затрат в основные агротехнические мероприятия не могут эффективно использоваться для производства сельскохозяйственной продукции. На долю таких почв приходится 61,5% (4,1+18,3+39,1%) в общем объеме пашни района (табл). Более половины площади пашни района занимают почвы, требующие применения удобрений и химической мелиорации.

Распределение площадей пашни Зубцовского района по уровню плодородия почв

| Группа обеспеченности почв | Число обследованных земельных участков | Доля площади от общего районного фонда, % | Площадь участков, га | Среднее значение показателей | | |
|----------------------------|--|---|----------------------|------------------------------|----------|--------|
| | | | | pH_{KCl} | P_2O_5 | K_2O |
| 1 | 291 | 25,0 | 7110,1 | 6,0 | 220,0 | 126,3 |
| 2 | 157 | 13,5 | 3369,4 | 5,9 | 179,8 | 61,1 |
| 3 | 47 | 4,1 | 995,8 | 5,9 | 76,4 | 104,0 |
| 4 | 213 | 18,3 | 4220,2 | 5,1 | 65,2 | 55,7 |
| 5 | 455 | 39,1 | 10904,3 | 5,4 | 153,9 | 88,4 |
| Итого | 1163 | 100,0 | 26599,8 | 5,6 | 154,6 | 88,8 |

При исследовании зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от уровня кислотности и фосфатного режима почв данные многочисленной выборки были проанализированы регрессионным методом [4, 5]. Установлено, что для дерново-подзолистых почв зависимость урожайности от pH можно выразить следующим уравнением: $y = 40,7x_1 - 167$, при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,91$.

Анализ зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от уровня фосфатного режима почв показал, что при обеспеченности подвижным фосфором от 40 до 120 мг/кг P_2O_5 зависимость также носит прямолинейный характер и имеет вид следующего уравнения (рис. 2). Систематическое применение известковых и фосфорных удобрений в земледелии области существенно изменило как уровень кислотности почв (x_1), так и содержание подвижного фосфора (x_2). Анализ результатов мониторинга показывает, что оба эти исследуемых фактора тесно связаны с урожайностью культур (y), при этом теснота связи между ними очень высокая - $R_{x_1x_2} = 0,96$. Выявлено, что исследуемые факторы дублируют друг друга - $R_{x_1y} = 0,96$ и $R_{x_2y} = 0,97$.

Существует ряд подходов к преодолению сильной межфакторной корреляции. Мы использовали способ учета внутренней корреляции факторов посредством совмещённых уравнений регрессии, которые отрицают не только влияние

факторов, но и их взаимодействие. Так, если $y=f(x_1x_2)$, то возможно построение следующих совмещенных уравнений:

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3, (1)$$

$$Y=a_0+a_1x_1^2+a_2x_1x_2+a_3x_2^2 \text{ (квадратичная форма)}. (2)$$

Для определения целесообразности включения в уравнение второго факторного признака (x_1), использовали частный F- критерий:

$$F_{x_1} = \frac{R^2_{yx_1x_2} - R^2_{yx_2}}{1 - R^2_{yx_1x_2}} \cdot \frac{n - m - 1}{m},$$

где $n = 21$, $m = 3$.

$$y = 9,86x_1 + 0,35x_2 - 54,53,$$

$$R^2_{yx_1x_2} = 0,959 \text{ (при коллинеарности факторов)},$$

$$R^2_{yx_2} = 0,9546;$$

$$F_{x_1} = \frac{0,0044}{0,041} \cdot \frac{17}{1} = 1,824$$

$$F_{табл}(0,05; 1; 17) = 4,45,$$

Так как $F_{x_1факт} < F_{табл}$, то дополнительное включение фактора x_1 в модель не увеличивает существенно долю объяснённой вариации признака y , следовательно, включение его в модель такого вида нецелесообразно и коэффициент регрессии при данном факторе в этом случае статистически незначим.

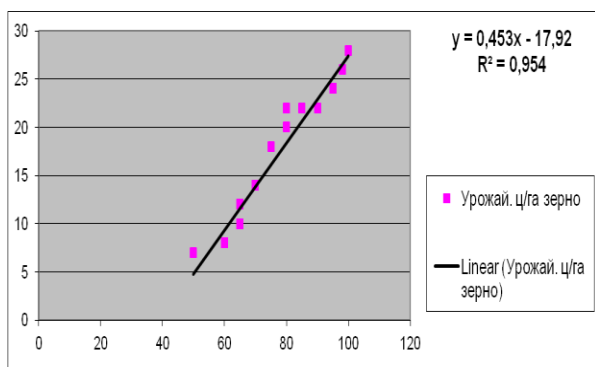


Рис. 2. Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве

При использовании уравнений 1 и 2, коэффициенты находим по критерию минимума суммы квадратов остатков с помощью надстройки MS EXCEL «Поиск решения». Получим, что для первого уравнения сумма квадратов остатков будет составлять $SS_2 = 38,98$, а для второго – $SS_1 = 40,91$. При этом уравнения будут иметь следующий вид:

$$\hat{y} = -104,20 + 20,49x_1 - 0,17x_1x_2 + 1,15x_2,$$

$$\hat{y} = -20,01 + 0,03x_1^2 + 0,13x_1x_2 + 0,00x_2^2.$$

Для 1-го уравнения $SS_1 = 943,76$, для 2-го $SS_2 = 941,23$.

Факторная сумма (сумма квадратов регрессии):

$$R^2 = \frac{SS_1}{(SS_1 + SS_2)} = \frac{\sum (\hat{y} - m_y)^2}{\sum (y - m_y)^2} = \frac{\sum (\hat{y} - m_y)^2}{\sum (\hat{y} - m_y)^2 + \sum (\hat{y} - y)^2}.$$

$R^2 = 0,96$; $R^2 = 0,58$, т.е. для первого уравнения коэффициент детерминации немного больше. Кроме того, первый вид более простой с точки зрения степеней факторных переменных, поэтому остановимся на данном уравнении и определим его значимость:

$$y = -104,2 + 20,49x_1 - 0,17x_1x_2 + 1,15x_2,$$

$$F_{рас} = \frac{SS_1 \cdot (n - m - 1)}{(SS_1 + SS_2)m} = \frac{943,7 \cdot 17}{38,98 \cdot 3} = 137,2'$$

где m - число параметров при факторных переменных, n - число единиц совокупности; $n = 21$, $m = 3$. Вероятность значимости критерия Фишера:

$$P = FPACП(F_{рас}; 3; 17) = 0,000000000004, \text{ т.е. } P < 0,001.$$

Это означает, что модель значима и пригодна для использования.

$$\text{Найдём } F_{табл,0,05} = 3,2, F_{табл,0,001} = 8,73.$$

Полученные результаты по значимости уравнения подтверждаются дисперсионным анализом: $R^2 = 0,96$; $SS_2 = 38,98$; $SS_1 = 943,69$, $F_{расч} = 137,2$,

значимость: $F: 0,000000000004$.

Поэтому уравнение будет иметь вид:

$$y = -104,4 + 20,54x_1 - 0,17x_1x_2 + 1,15x_2.$$

Оценка значимости коэффициентов a_1, a_2, a_3 , показала, что $a_1 = 20,49$, $a_2 = -0,17$, $a_3 = 1,15$;

$$t_{a_i} = \frac{a_i}{m_{a_i}}, \text{ где } a_i - \text{коэффициент регрессии, при факторе}$$

x_i ; m_{a_i} - средняя квадратическая ошибка коэффициента регрессии a_i .

$$\text{Находим: } t_{a_1} = \frac{20,49}{15,631} = 1,31', t_{a_2} = \frac{0,17}{0,223} = 0,762', t_{a_3} = \frac{1,15}{1,044} = 1,1'.$$

Вычисление средней ошибки аппроксимации: $A = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right| \cdot 100\% = 9,3\%$ показало, что имеем обыкновенную точность уравнения регрессии.

Степень влияния каждого фактора определяют на основе частных коэффициентов эластичности для уравнения $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1x_2 + a_3x_2$, т.е.

$$\partial x_1 = \frac{\overline{a_1x_1}}{y_3} + \frac{\overline{a_2x_1x_2}}{y} = \frac{20 \cdot 4,5}{16,33} - \frac{0,17 \cdot 4,5 \cdot 75,62}{16,33} = 2$$

$$\partial x_2 = \frac{\overline{a_3x_2}}{y} + \frac{\overline{a_2x_1x_2}}{y} = \frac{1,15 \cdot 75,62}{16,33} - 3,54 = 1,79$$

Полученные результаты вычислений показывают, что с увеличением рН на 1% урожайность повышается в среднем на 2% и с ростом содержания в почве P_2O_5 на 1% урожайность повышается в среднем на 1,79%.

Результаты исследований, а также многолетний опыт сельскохозяйственного производства Нечерноземья свидетельствуют, что стабильные и достаточно высокие урожаи, экологически безопасную продукцию всех сельскохозяйственных культур можно получить только при выращивании их на достаточно плодородных, окультуренных почвах. Анализ данных мониторинга и выявление зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от параметров плодородия почв показывают, что если не вернуться к стратегии эффективного сельскохозяйственного производства: систематическое известкование почв, внесение по потребности минеральных удобрений, то может начаться интенсивный процесс деградации почв, что приведет к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Ганичев А.В., Ганичева А.В. Прикладная статистика. Учебное пособие. – Тверь: ТФ РГСУ, 2009.- 159 с. 2. Гухман В.Б. Введение в компьютерную обработку социологических данных. - Тверь: ТГТУ, 2004.-42 с. 3. Фирсов С.А. Оптимизация агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв Тверской области на основе регионального мониторинга// Автореф. докт. дисс.- М., 2011.- 43 с. 4. Фирсов С.А. Мониторинг потенциала почвенных ресурсов, качества безопасности сельскохозяйственной продукции.- Тверь, 2010.-78 с. 5. Шильников И.А., Сычёв В.Г., Шейджен А.Х., Аканова Н.И. Потери элементов питания растений в агробиохимическом круговороте веществ и способы их минимизации. – М., 2012.- 350 с. 6. Брагинский О. Биопродукты – мифы и реальность [Электронный ресурс]. URL: http://new-etail.ru/lifestyle/bioprodukty_mify_ili_realnost6837/ (дата обращения: 12.05.2015). 7. Доброхотов С.А. Некоторые итоги перехода на органическое земледелие в модельном опыте (на примере Ленинградской области) [Электронный ресурс]. URL: http://sozrf.ru/mod_op/ (дата обращения: 12.05.2015). 8. Bruulsema T. Productivity of organic and conventional cropping systems / Organic Agriculture: Sustainability, Markets and Policies. Paris: Cedex, 2003.- 408 p. 9. Jules N. Pretty. Sustainable Agriculture and Food. Vol. III. London: Sterling, 2008. 388 p.

**EFFECT OF THE FERTILITY PARAMETERS OF SODDY-PODZOLIC SOILS ON THE PRODUCTIVITY
OF AGRICULTURAL CROPS**

S.A. Firsov, S.S. Firsov, Tverskoi Center of Agrochemical Service ul. Vasilevskogo 5, Sakharovo, Tver', 170904 Russia

The results of processing the data of agrochemical survey of soddy-podzolic soils are given; the dependence of the productivity of agricultural crops on the parameters of soil fertility (acidity and content of available phosphorus) is revealed.

Keywords: soil fertility, acidity, content of available phosphorus, regression model, return of expenditures.