

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И ЧЕРНОЗЕМОВ ПОД ЯБЛОНЮ С
УЧЕТОМ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**В.И. Савич, д.с.-х.н., РГАУ-МСХА, Ю.В. Трунов, д.с.-х.н., ВНИИС,
В.Д. Наумов, д.б.н., Д.Н. Никиточкин, к.с.-х.н., РГАУ-МСХА**

Доказывается, что модели плодородия почв обусловлены факторами почвообразования, свойствами, процессами и режимами почв, экономическими и экологическими ограничениями. Рентабельные, оптимальные свойства почв определяются реально возможным урожаем, в том числе с учетом степени оптимизации всех звеньев систем земледелия и социальных факторов. Показано, что при оценке оптимальных свойств почв под яблоню необходимо учитывать скорость перехода биофильных элементов из почвы в раствор, депонирующую способность почв к ним, закономерность изменения подвижности ионов от параметров десорбентов. Предложены алгоритмы учета этих показателей. Показана необходимость учета при оценке оптимальных свойств почв под яблоню взаимосвязей агрохимических и физико-химических свойств почв, изменчивости свойств почв в пределах парцеллы, содержания элементов в отдельных слоях почв до глубины 1 м и доли деятельных корней в этих слоях. Предложены алгоритмы учета рассматриваемых показателей.

Ключевые слова: яблоня, модели плодородия почв, депонирующая способность почв.

Возрастающая степень интенсификации сельскохозяйственного производства и загрязнения среды требует разработки новых методов углубленной оценки плодородия почв, вызывает необходимость более точного учета экономической и экологической целесообразности создания почв с заданными свойствами. Существует давний спор: что надо кормить - почву или растения? С нашей точки зрения, с учетом экономической целесообразности следует кормить растения [10], но предусмотреть протекающие при этом процессы взаимодействия удобрений с почвой.

С увеличением планируемой урожайности требуется создание почв с большей емкостью поглощения и более глубоким корнеобитаемым слоем, так как необходимое для получения урожая количество биофильных элементов не может быть поглощено некультуренной почвой, а избыточное количество элементов в почвенном растворе приводит к токсикации растений. Очевидно, что для разного уровня урожайности требуется и определенное количество подвижных форм элементов питания. При этом достижение избытка элементов также вредно, как и их недостаток.

Яблоня отличается от полевых культур рядом биологических особенностей: корни растений развиваются до глубины более 1 м и основная масса деятельных корней находится ниже пахотного слоя, в разном возрасте требования яблонь к питательному режиму и глубина распространения корней различаются. У яблонь длительность периода жизни, свойства почв под ней различаются в пределах парцеллы, развитие яблонь существенно влияет на протекающие почвообразовательные процессы. Это требует более углубленной оценки свойств почв под культуру яблонь.

В зарубежной литературе указываются как минимально, так и максимально допустимые концентрации и соотношения биофильных элементов [16, 17]. Оптимальное содержание NPK зависит от pH среды, гранулометрического состава, емкости поглощения почв, степени гумусированности [16, 17], содержания подвижных полутвердых оксидов, степени развития анаэробии [17]. Для плодовых культур обязательна оценка содержания элементов питания в отдельных

слоях почвенного профиля [6, 15]. Ряд авторов отмечает необходимость при оценке плодородия почвы учета доли деятельных корней в отдельных горизонтах [5].

В литературе указывается, что одна вытяжка не может полно охарактеризовать обеспеченность почв элементами питания [10-12], нужна оценка закономерности изменения подвижности от внешних факторов и параметров десорбента [14]. Содержание элементов в растворах десорбентов определяется эффективными произведениями растворимости - их осадков, эффективными константами ионного обмена, эффективными константами устойчивости комплексов и не характеризует полностью содержание их в твердой фазе почв [13, 14]. Для оценки последнего показателя предложено определить депонирующую или возобновляющую способность почв [13, 14]. При создании почв с заданными свойствами необходима оценка: буферных свойств почв [1-4], возможной миграции веществ [3, 4, 7], скрытого отрицательного действия несбалансированного применения удобрений [3], скорости перехода ионов из твердой фазы в раствор [8], соотношения элементов в почве и в растениях [9, 13, 14].

Объекты исследования - плодоносящие яблоневые сады на дерново-подзолистых почвах и выщелоченных черноземах [4, 15] и саженцы яблонь.

Методика. Состояла в оценке свойств почв, состояния яблонь и химического состава их органов, в вычислении математических взаимосвязей химических показателей в системе почва - растения - удобрения с использованием 15 уравнений парной корреляции и уравнений множественной регрессии [9, 14, 15].

В исследованиях проведена углубленная оценка свойств почв под яблоней, а также состояния системы почва-яблоня при разном увлажнении почв, разработаны алгоритмы уточнения моделей их плодородия с учетом протекающих под яблоней почвообразовательных процессов.

1. Доказывается необходимость углубленной характеристики свойств почв при оценке моделей их плодородия под яблоню.

Экспериментальными исследованиями установлено наличие в почвах и в отдельных органах яблонь положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений катионов и анионов. Показано, что при недостатке подвижных катионов в почвах они связаны в растениях в основном в отрицательно заряженные комплексы с лигандами процессов метаболизма. Предлагается использовать метод химической автографии на основе электролиза для оценки потребности яблонь в элементах питания. Разработана методика электрофоретической подкормки яблонь биофильными элементами.

Для уточнения обеспеченности яблонь элементами питания предлагается оценить скорость их перехода из почвы в раствор, депонирующую способность почв по отношению к ним и закономерности их перехода в раствор в зависимости от влажности, температуры, pH, концентрации десорбента.

По полученным данным, в черноземах, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, скорость перехода ионов из почвы в раствор (X_1) была ниже. Это обусловлено более тяжелым гранулометрическим составом черноземов и большей долей в них минералов с интрамицеллярным типом поглощения (монтмориллонита). Так, соотношение вытеснен-

ных 0,1 н. HCl из почв калия и фосфора за 6 дней и 5 мин составляло для калия в черноземе 2,7, в дерново-подзолистой почве – 1,8, для фосфора, соответственно, 6,7 и 3,7.

По полученным данным, в черноземах, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, была больше способность почв к восстановлению концентрации ионов в почвенном растворе при их отчуждении (X_2), что также обусловлено большой емкостью поглощения катионов черноземом и наличием в нем монтмориллонита. В черноземе, по сравнению с дерново-подзолистой почвой, больше сорбционная емкость и разнокачественность сорбционных мест. В связи с этим, при увеличении температуры и концентрации десорбента из них больше вытесняется катионов, чем из дерново-подзолистых почв.

Этот показатель был нами ранее назван фактором мобильности, описывающим процесс десорбции: $X = KC^{1/n}$, он характеризуется величиной коэффициента $1/n$ в уравнении Фрейдлиха. Чем больше $1/n$ (X_3), тем лучше почва обеспечена исследуемым элементом. Так, по полученным данным, при изменении концентрации десорбента HCl величина $1/n$ составляла при вытеснении калия из дерново-подзолистой почвы 0,10, а при вытеснении из чернозема – 0,23. При изменении температуры от 0 до 40°C эти показатели были равны, соответственно, 0,08 и 0,14.

Согласно проведенным исследованиям, обеспеченность почв элементами

$$Y = f \sum k_i X_i + k_1 X_2 + k_1 X_3,$$

где $\sum k = 1$; k – степень влияния X на Y .

Оптимальное содержание подвижных форм элементов питания (Y) в почве зависит от сочетания свойств почв (Z_i):

$$Y = f \sum k_i Z_i,$$

где Z_i – pH почв, содержание гумуса, илистой фракции, E_h , емкость поглощения почв.

Так, например, зависимость содержания подвижных Zn, Mn, Cu в черноземах от pH среды описывалась уравнениями:

$$Mn = 427,9 - 47,9pH; r = 0,78; F = 9,7;$$

$$Zn = 28,8 - 3,2pH; r = 0,82; F = 12,3;$$

$$Cu = 5,48 - 0,59pH; r = 0,86; F = 17,6.$$

Зависимость подвижных форм P_2O_5 от pH выражалась уравнением

$$P_2O_5 = 42,8 - 4,3pH; r = 0,89; F = 23,3.$$

Так, в дерново-подзолистых почвах Мичуринского сада РГАУ-МСХА при pH > 3,9 содержание подвижных фосфатов и обменного калия составляет, соответственно, 224±74,4 и 329,4±18,5 мг/кг, а при pH < 3,9, соответственно, 50,6±16,5 и 108,8±8,0. С учетом непараметрических критериев различия при pH > 3,9 содержание P_2O_5 выше в 5 случаях из 5, содержание K_2O – в 4 случаях из 5. Для почв яблоневых садов на черноземах Тамбовской области при pH < 5,5 содержание подвижных фосфатов составляло 131,7±19,0 мг/кг, обменного калия 121,2±15,8, при pH 5-6 эти показатели были равны, соответственно, 196,0±20,5 и 157,4±17,1. Содержание легкогидролизуемого азота коррелировало с содержанием органического вещества. При содержании гумуса < 5% содержание легкогидролизуемого азота составляло 93,7±5,0 мг/кг, а при обеспеченности гумусом 5-8% – 120,6±3,2 мг/кг.

2. Доказывается необходимость при оценке плодородия почв под яблоню учёта взаимосвязи химических показателей в системе почва-растение.

Полагаем, что только анализ почв или растений не позволяет установить точно потребность последних в элементах питания, так как они могут не поступать в растения и при достаточном содержании в почве. Для корректной оценки потребности растений в элементах питания необходимо использование систем обратной связи: введение элементов в растение – идентификация ответной реакции растения; введение элементов в суспензию почв – идентификация ответной реакции растений, развивающихся на этих почвах, в частности, по параметрам фотосинтеза [14]. В то же время, и анализ системы почва-растение в полевых условиях позволяет определить факторы, лимитирующие урожай.

Так, в яблонях, растущих на черноземах, установлено развитие розеточности при связывании цинка в корнях в осадки с фосфатами, т.е. при высоком содержании фосфатов [9]. В то же время, заболевание яблони розеточностью коррелировало не только с содержанием подвижных фосфатов, но и с соотношением органических форм Zn/Cu.

$$Y = 2,10 - 1,3Zn - 0,1Cu + 2,6Zn/Cu.$$

На дерново-подзолистых почвах угнетение развития яблонь происходило при оглеении почвенного профиля или нижних горизонтов почв. Так, содержание водорастворимого железа в неоглеенных горизонтах этих почв 0,35±0,21 мг/л, а в оглеенных – 1,20±0,50 мг/л. При этом в оглеенных горизонтах увеличивалось соотношение Fe/Mn и уменьшалось соотношение (Ca+Mg)/Fe.

По полученным данным, оглеенные горизонты были менее устойчивы к анаэробнозису, по сравнению с неоглееными. При избыточном увлажнении почв соотношение (Ca+Mg)/(Fe+Mn) составило в оглеенных горизонтах дерново-подзолистой почвы 53,5, а в неоглеенных – 97,1. Оглеение почв привело к увеличению содержания железа в древесине, листьях яблонь, в продуктах транспирации из листьев яблонь. Так, содержание железа в продуктах транспирации из листьев гибнущих яблонь составило 0,8 мг/л, а из здоровых – 0,4 мг/л. В продуктах транспирации из листьев гибнущих яблонь было больше, по сравнению со здоровыми деревьями, марганца, цинка и меньше кальция. Избыточное увлажнение дерново-подзолистых почв и черноземов под яблоневыми садами привело к уменьшению в этих почвах доли Са-фосфатов и к увеличению доли Al- и Fe-фосфатов.

Неблагоприятные свойства почв привели и к уменьшению глубины распространения корней яблонь в почвенном профиле. На черноземах распространение корней с глубиной почвенного профиля различалось у больных розеточностью (Y_1) и здоровых (Y_2) яблонь.

$$Y_1 = 110,66 - 1,07X; r = 0,66; F = 12,4;$$

$$Y_2 = 220,49 - 4,75X; r = 0,73; F = 4,5.$$

В проведенных исследованиях показана необходимость при оценке плодородия почв под яблоню учитывать содержание подвижных форм элементов питания в отдельных слоях почв – до 60-100 см (Z , кг/га) и долю деятельных корней в этих слоях (от 0 до 1) – z .

$$Y = \sum Z_i k_i, \text{ где } \sum Z_i = 1, k - \text{степень влияния } Z_i \text{ на } Y; \sum k = 1.$$

В первом приближении такую оценку перспективно давать по закономерностям изменения содержания веществ по профилю почв с учетом развития подзолообразования и дернового процесса.

3. Модели плодородия почв под яблоню различаются в зависимости от интенсивности протекающих почвообразовательных процессов: дернового, глеевого, подзолистого, и, в то же время, при выращивании яблонь изменяется интенсивность протекания этих процессов. Основная часть корней яблонь находится на определенной глубине, что способствует развитию промывного типа водного режима. При высоких дозах органических удобрений в таежно-лесной зоне увеличивается количество кислых продуктов в верхнем слое и при их миграции усиливается подзолообразование с опусканием горизонта A_2 на большую глубину. Большее количество органических веществ приводит к активации микрофлоры, что при недостатке кислорода на оглеенных почвах способствует анаэробнозису.

При разложении растительных остатков в яблоневом саду образуются кислые водорастворимые продукты с определенными: величиной pH и количеством ионов H^+ в растворе; комплексообразующей способностью ($K_H^{эф}$) и количеством лигандов комплексообразователей в растворе; константой восстановления и количеством лигандов восстановителей. Влияние на почву обусловлено совместным воздействием этих экстенсивных и интенсивных параметров.

Увеличение комплексообразующей способности мигрирующих через почву растворов с водорастворимым органическим веществом продуктов трансформации листьев яблонь приводит к более быстрому развитию элювиально-

иллювиальных процессов. Так, раствором 0,1н. KCl вытеснялось из чернозема 2,7 мг/л Fe, 0,9– Mn, 0,05 мг/л – Cu, а при действии 0,1н. KCl + 0,01м ЭДТА, соответственно, 44,2; 5,4 и 0,21 мг/л. Из дерново-подзолистой почвы 0,1н. KCl вытеснялось железа, марганца и меди, соответственно, 10,9; 5,3 и 0,23 мг/л, а с добавлением комплексона, соответственно, 183,8; 10,7 и 0,23 мг/л.

В водорастворимом органическом веществе из опада древесных культур и трав растворялось до 80 мг/л Cd, до 16 Cu, до 60 мг/л Mg, что значительно выше растворимости их осадков с учетом pH среды. Однако комплексобразующая способность водорастворимых продуктов трансформации растительного опада яблоневого сада отличалась от времени компостирования и в аэробных и в анаэробных условиях.

В то же время, корни яблонь проникают на большую глубину и, в связи с развитием дернового процесса почвообразования, переносят в верхний слой почвы биофильные элементы. Содержание подвижных форм этих биофильных элементов в пахотном слое увеличивается и за счет усиления процессов биохимического выветривания. Аналогичное явление отмечалось в 40-летних опытах И.С. Шатилова, когда после однократного известкования и при отрицательном балансе по фосфору и калию величина pH и содержания подвижных форм P_2O_5 и обменных K_2O за этот длинный период не изменилась [4].

Модели плодородия почв под яблони различаются в зависимости от уровня интенсификации производства, а также для богарных условий и при орошении [13]. Так, например, при оптимальной влажности на черноземах потребление яблоней N, P, K [мг/(м²·сут)] составляло, соответственно, 36,6±5,3; 16,7±3,3 и 26,8±9,0, а при дефиците влаги, соответственно, 13,6±1,9; 9,5±1,9 и 19,7±3,7; изменялось и соотношение N:P:K, поглощенных корневой системой и потребленных яблоней.

Наряду с этим, при внесении удобрений под яблоню отмечались синергизм и антагонизм, проявлялся эффект убывающей отдачи не только по действию повышенных доз удобрений на урожай, но и на поступление NPK в органы растений. При малых дозах удобрений наблюдается резкое увеличение эффективности их применения.

При поглощении NPK корневой системой яблонь при применении доз от 30 до 180 кг д.в./га проявлялись эффекты синергизма и антагонизма. Так, индекс корреляции (r) поглощения фосфатов от доз калия был равен -0,56; поглощения азота от доз фосфора r = -0,76; поглощения фосфора от доз азота r = -0,24 (для уравнения $Y = A + BX$).

При потреблении NPK корневой системой (мг/г) эти зависимости проявлялись в меньшей степени. С увеличением доз удобрений уменьшалось как поглощение, так и потребление корневой системой яблонь NPK. Так, в интервале доз 30-60 кг д.в./га поглощение на 30 кг NPK составило N -17,4 мг/(м²·сут), P – 6,9 и K – 5,7, а в интервале доз 60-120 кг д.в./га, соответственно, 1,8; 0,2 и 1,8. Таким образом, закон убывающей отдачи проявляется не только в уменьшении эффективности затрат на получение единицы урожая, но и в поглощении и потреблении элементов питания яблоней.

При этом химический состав листьев, ветвей, корней в значительно большей степени реагировал на дозы NPK, чем химический состав плодов. Так, для сорта Орловский вынос

азота на 1 дерево (г) описывался для отдельных органов яблони следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} \text{для корней } Y &= 17,75 + 0,03X_1 + 2,5X_2; r = 0,61; F = 5,5; \\ \text{для листьев } Y &= 2,28 + 0,02X_1 + 4,2X_2; r = 0,91; F = 43,6; \\ \text{для ветвей } Y &= -4,15 + 0,04X_1 + 3,6X_2; r = 0,85; F = 25,4; \\ \text{для плодов } Y &= -3,58 + 0,007X_1 - 1,0X_2; r = 0,75; F = 12,5, \end{aligned}$$

где X_1 – дозы N; X_2 – последовательность лет при оценке показателей.

По полученным данным, химический состав органов яблони и урожайность садов значительно варьировали по годам, что не может объясняться истощением почвы за счет получения урожая в предыдущие годы. Очевидно, цикличность урожая также необходимо учитывать при корректировке моделей плодородия почв под яблоню.

Таким образом, протекание почвообразовательных процессов под яблоневыми садами является фактором корректировки моделей плодородия почв под эту культуру, влияющим на следующие показатели состояния почв: скорость перехода ионов из почвы в раствор, депонирующую способность почв, распределение биофильных элементов по профилю и в парцелле, проявление дернового процесса почвообразования и элювиально-иллювиального процесса, интенсивность проявления закона убывающей отдачи, эффектов синергизма и антагонизма при применении удобрений. Действие этих факторов особенно усиливается в связи с длительным периодом жизни растений и в зависимости от возраста деревьев.

Литература

1. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. - М.: ЦИНАО, 2000. - 578 с. 2. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. - М.: Колос, 1992. - 272 с. 3. Духанин Ю.А., Савич В.И., Замараев А.Г. и др. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. - 324 с. 4. Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г. и др. Энергомассообмен в звене полевого севооборота, ч. 2. - М.: ВНИИА, 2005. - 336 с. 5. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения с/х культур. - М.: РГАУ-МСХА, 2009. - 412 с. 6. Кобзаренко В.И. Ресурсы фосфора и калия темно-серых лесных и дерново-подзолистых почв и возможности их мобилизации// Автореф. докт. дисс., МСХА, 1998. - 47 с. 7. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия/ Под ред. Иванова А.Л. и Державина Л.М. - М.: МСХА, 2008. - 385 с. 8. Науменко В.П. Основы лесного почвоведения. - Новочеркасск. - МСХ РФ, НГМА, 2001. - 104 с. 9. Наумов В.Д. Почвенно-экологические условия заболевания яблони розеточностью. - М.: РГАУ-МСХА, 2012. 10. Прянишников Д.Н. Агрохимия. Т.1. - М.: Сельхозиздат, 1963. - 735 с. 11. Пуховский А.В. Многоэлементные экстрагенты в агрохимическом обследовании: концепции, принципы и перспективы. - М.: ЦИНАО, 2003. - 102 с. 12. Савич В.И., Будагова А.А. Применение фактора мобильности для оценки обеспеченности почв калием. Докл. ТСХА, 1971. - Вып. 162. - С. 116-121. 13. Савич В.И., Булгаков Д.С. и др. Интегральная оценка плодородия почв. М.: РГАУ-МСХА, 2010. - 347 с. 14. Савич В.И. Физико-химические основы плодородия почв. - М.: РГАУ-МСХА, 2013. - 431 с. 15. Трунов Ю.В. Минеральное питание и удобрение яблони. - Мичуринск, Научград, РАСХН, 2010. - 400 с. 16. Pagel H., Horst M. Pflanzennährstoffe in tropischen Boden, Berlin, 1982, 272 p. 17. Weldkamp W.J. u a. Fertilité des sols i Mali, Mali-Sud office de Niger interpretation des donnees analytiques des sols et plantes

INFORMATION ESTIMATION OF FERTILITY MODELS FOR SODDY-PODZOLIC SOILS AND CHERNOZEMS UNDER APPLE TREES WITH ACCOUNT FOR SOIL-FORMING PROCESSES

V.I. Savich¹, Yu.V. Trunov², V.D. Naumov¹, D. N. Nikitochkin¹

¹Russian State Agrarian University–Moscow Agricultural Academy, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia

²Michurin Research Institute of Horticulture, ul. Michurina 30, Michurinsk, Tambov oblast, 393760 Russia

It has been proved that the models of soil fertility are determined by pedogenesis factors; the properties, processes, and regimes of soils; and economic and ecological limitations. The optimum properties of soils are determined by the potential crop yield, with consideration for the degree of optimization of all links in farming systems and social factors. It has been shown that the estimation of the optimum properties of soils for apple trees should take into consideration the rate of transition of biophilic elements from soil into solution, the depositing capacity of soils for them, and the changes in ion mobilities depending on the parameters of desorbents. It has been shown that the interrelations between the agrochemical and physicochemical properties of soils, the variability of soil properties within a parcel, the contents of elements in separate soil layers to a depth of 1 m, and the portion of active roots in these layers should also be considered at the estimation of optimum properties of soils under apple trees. Algorithms to account for these parameters have been proposed.

Keywords: apple tree, soil fertility models, depositing capacity of soils.