

УДК 631.11:631.6

**ИЗМЕНЕНИЕ ВОДПРОНИЦАЕМОСТИ СВЯЗНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ
ПРИ ГЛУБОКОМ БЕЗОТВАЛЬНОМ РЫХЛЕНИИ**

А.В. Копытовских, кандидат технических наук
Полесский государственный университет, Пинск

Ключевые слова: минеральные земли, связные почвы, глубокое рыхление, коэффициент фильтрации

Введение

В настоящее время в целях улучшения водно-физических свойств почвенного профиля, повышения работоспособности закрытого дренажа, улучшения микробиологической активности почвы и, в конечном итоге, повышения продуктивности мелиорированных земель применяются агромелиоративные приемы по глубокому рыхлению и щелеванию.

Основной целью глубокого рыхления (0,4-1,2 м) является улучшение фильтрационной способности почвенного профиля по всей глубине обработки для повышения притока избыточной внутрисочвенной влаги к дренажным системам. Различают глубокое мелиоративное рыхление на глубину не менее 0,8 м, которое рекомендуется выполнять при строительстве мелиоративных систем и в дальнейшем при проведении ремонта и реконструкции мелиоративных систем с периодичностью 10-12 лет, и эксплуатационное рыхление на глубину до 0,6 м с периодичностью 3-4 года. Рекомендуемая периодичность обусловлена практическим опытом проведения агромелиоративных мероприятий в СССР, а также ряде западно-европейских стран, в частности ФРГ и ГДР [1, 2].

Известно, что глубокое рыхление позволяет увеличить фильтрационную способность почвенного профиля в несколько раз, иногда на 1-2 порядка. Однако, несмотря на вроде бы очевидную эффективность проведения мероприятия, на практике отмечены случаи и отрицательного воздействия приема на водный режим [2, 3], связанного с проявлением не осушительного, а, наоборот, влагоаккумулирующего эффекта, приводящего к более интенсивному увлажнению почвенного профиля, а в ряде случаев – к его переувлажнению. Очевидно, это явление связано, во-первых, с существенным увеличением впитывающей способности поверхностного слоя почвы, в результате которого атмосферные осадки и стекающий по поверхности сток более интенсивно переводятся вглубь почвенного профиля, и, во-вторых, с наличием слабоводопроницаемой не рыхленной прослойки грунта в придренной области, препятствующей быстрому отводу воды через дренажную сеть. Результатом этого является интенсивное накопление вла-

ги в профиле почвы и, как следствие, ее переувлажнение.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости разработки методической базы, позволяющей расчетным путем определить целесообразность проведения агромелиоративных мероприятий и требуемые параметры обработки, к которым относятся глубина рыхления и расстояние между проходами рабочих органов рыхлителя.

Объект и метод исследований

Для реализации указанной цели на землях Витебской опытно-мелиоративной станции (Сенненский район Витебской области) проведены полевые исследования по влиянию глубокого рыхления на водопроницаемость связных почв с различной исходной величиной коэффициентов фильтрации в диапазоне гранулометрического состава от связных супесей до тяжелых суглинков.

Полевые измерения водопроницаемости выполнены по стандартной методике, а именно: методом восстановления уровня воды в скважине [1, 2] с учетом поправок А.М. Смирнова на вертикальную неоднородность грунтов [4].

Результаты исследований

На основе проведенных полевых экспериментов получена эмпирическая регрессионная модель для оценки водопроницаемости полного почвенного профиля (от поверхности до уровня заложения дренажа) в водонасыщенном состоянии, т.е. при влажности, соответствующей полной влагоемкости. При этом значения коэффициентов корреляции в уравнениях регрессии находятся в пределах 0,88-0,95.

В соответствии с моделью средний на площади участка коэффициент фильтрации в первый год действия рыхления можно определить по зависимости

$$K_{\phi.p} = 12,2 K_{\phi} H^{2,3} L^{-0,4} \quad (1)$$

где $K_{\phi.p}$ – средний коэффициент фильтрации полного почвенного профиля от поверхности до линии заложения дренажа в первый год действия агромелиоративного приема, м/сут;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации почвенного профиля до проведения мероприятий по глубокому рыхлению, т.е. при плотности сложения профиля почвы, близкой к равновесной, м/сут;

H – глубина безотвальной обработки почвы при рыхлении, м;

L – расстояние между проходами рабочих органов глубокорыхлителя, м.

Коэффициент фильтрации по следу прохода рабочего органа $K_{\phi.p.c}$ (м/сут) в первый год действия рыхления рассчитывается по уравнению:

$$K_{\phi.p.c} = 17,9 K_{\phi} H^{2,2} \quad (2)$$

При проведении сплошного рыхления, т.е. когда глубина обработки примерно соответствует расстоянию между проходами рабочих органов [5], коэффициент фильтра-

ции можно рассчитать по формуле:

$$K_{\phi.p} = 12,2 K_{\phi} H^{1,9} \quad (3)$$

При использовании многостоечных глубокорыхлителей при фиксированном расстоянии между стойками рабочих органов требуемая глубина обработки H (м) вычисляется по зависимости

$$H = 0,33 L^{0,2} \left(\frac{K_{\phi.p}}{K_{\phi}} \right)^{0,4} \quad (4)$$

При использовании одностоечных рыхлителей с постоянной (фиксированной) глубиной обработки требуемое расстояние между проходами рабочих органов

$$L = 517,8 H^{5,7} \left(\frac{K_{\phi}}{K_{\phi.p}} \right)^{2,4} \quad (5)$$

Для определения прогнозных значений коэффициентов фильтрации $K_{\phi.n}$ в период последствия агроメリоративного приема по глубокому рыхлению, т.е. во второй, третий и последующие годы, используется математическая модель логистического типа «АРКТАН», разработанная в оригинальном варианте У. Байером [6] и адаптированная автором данной работы для решения поставленной цели

$$K_{\phi.n} = K_{\phi.p} - K_{\phi.p} - K_{\phi} \operatorname{arctg} (AT + B) + \rho / 2 \rho^{-1} \quad (6)$$

где T – год последствия агроメリоративного приема, принимающий значения 2, 3, 4...;

A, B – параметры кривой, определяемые по уравнениям (7), (8);

$\rho = 3,1416...$ – параметр приведения зависимой переменной к диапазону 0-1;

$\pi/2$ – параметр центровки кривой относительно начала координат.

Параметры кривых A и B , зависящие от глубины обработки и расстояния между проходами рабочего органа рыхлителя и представляющие собой коэффициенты линейной регрессии для уравнения (6) относительно независимой переменной T , определяются по выражениям

$$A = 4,77 + 3,58 \ln H - 0,51 \ln L \quad (7) \quad B = -11,72 - 7,73 \ln H + 1,48 \ln L \quad (8)$$

Таким образом, предложенная комплексная методика позволяет выполнить оценку целесообразности проведения мероприятий по глубокому рыхлению для обеспечения требуемой водопроницаемости почвенного профиля, подобрать оптимальные параметры обработки, к которым относятся глубина рыхления и расстояние между проходами рабочих органов рыхлителя, оценить динамику изменения коэффициентов фильтрации в последующие после проведения мероприятия годы, определить периодичность проведения глубокого рыхления.

Пример расчета

Требуется разработать систему глубокого рыхления почвы глубокорыхлителем РУ-65.2,5. Почвы участка легкосуглинистые, подстилаемые с глубины 0,3-0,4 м средними слабаводопроницаемыми суглинками. Участок осушен закрытым горизонтальным дренажем с глубиной заложения дрен 1,0 м. Средний коэффициент фильтрации почвенного профиля на участке $K_f = 0,1$ м/сут. Нормативный (достаточный для своевременного понижения уровней грунтовых вод) коэффициент фильтрации составляет 0,2 м/сут [2].

Рыхлитель РУ-65.2,5 предназначен для сплошного и полосового глубокого рыхления тяжелых почв. Его достоинством является высокий коэффициент разуплотнения и меньшее тяговое сопротивление при производстве работ в сравнении с другими аналогичными конструкциями. При навеске на трактор используется симметричная трехстоечная наладка навесной системы. Ниже приведена техническая характеристика.

Техническая характеристика РУ-65.2,5

Тип агрегата	Навесной
Агрегатирование	Класс 10
Максимальная глубина разуплотнения, м	0,65
Расстояние между стойками, м, фиксированное:	0,8; 1,6; 2,3
Количество рабочих стоек	0,8-1,2
Производительность, га/ч	2,62 x 2,00 x 2,68
Габариты, мм	1350
Масса, кг	

Поскольку подстилающие грунты имеет слабую водопроницаемость, глубину рыхления назначаем максимальной, а именно: на 20 см выше закладки дренажа, т.е. $H=0,80 - 0,20=0,60$ м. Принимаем предварительно минимальное расстояние между проходами рабочих органов $L=0,8$ м.

По уравнению (1) проверяем обеспечение требуемой водопроницаемости в первый год действия рыхления

$$K_{ф,р} = 12,2 * 0,1 * 0,6^{2,3} * 0,8^{-0,4} = 0,41 \text{ (м/сут)}.$$

Выбранные параметры обработки обеспечивают необходимую водопроницаемость. Далее по уравнениям (7) и (8) определяем коэффициенты A и B .

$$A = 4,77 + 3,58 \ln(0,6) - 0,51 \ln(0,8) = 3,06$$

$$B = -11,72 - 7,73 \ln(0,6) + 1,48 \ln(0,8) = -8,10.$$

По зависимости (6) вычисляем коэффициент фильтрации на второй год после проведения рыхления

$$K_{ф,2} = 0,41 - (0,41 - 0,1) [\arctg(3,06 * 2 - 8,10) + 3,14 / 2] / 3,14 = 0,36 \text{ (м/сут)}.$$

Результаты расчета свидетельствуют о том, что на второй год проводить повторное глубокое рыхление не требуется.

Вычисляем коэффициент фильтрации на третий год действия агрономелиоративного приема

$$K_{ф,3} = 0,41 - (0,41 - 0,1) [\arctg(3,06 * 3 - 8,10) + 3,14 / 2] / 3,14 = 0,17 \text{ (м/сут)}.$$

По результатам расчета на третий год необходимо повторное глубокое рыхление, поскольку вычисленное значение коэффициента фильтрации $K_{ф,3} = 0,17$ м/сут ниже допустимого значения, составляющего 0,2 м/сут. Таким образом, периодичность проведения мероприятия составит 3 года.

Предположим далее, что в реальных условиях приведенный выше расчет не был выполнен. При этом, исходя из практических соображений по уменьшению энергоемкости глубокого рыхления и увеличению производительности агрегата для проведения данного агрономелиоративного приема, конструктивно была принята минимальная глубина обработки $H = 0,5$ м, и максимальное расстояние между проходами рабочих органов $L = 1,6$ м. Тогда, согласно расчету по уравнению (1), получаем

$$K_{ф,р} = 12,2 * 0,1 * 0,4^{2,3} * 1,6^{-0,4} = 0,12 \text{ (м/сут)}.$$

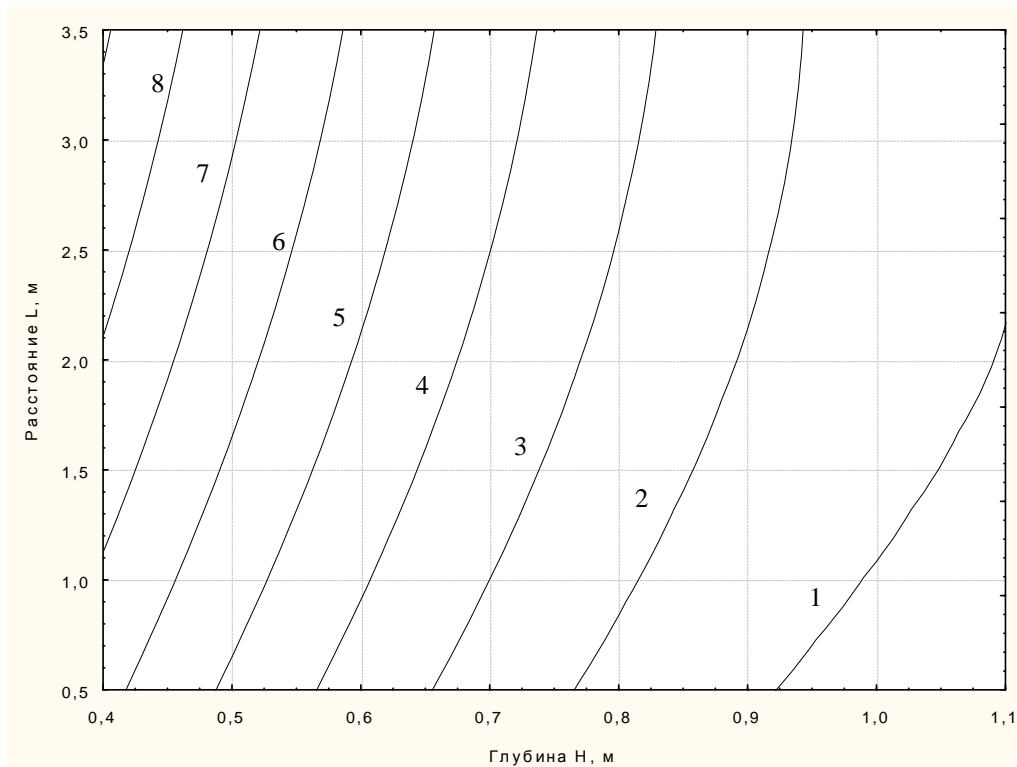
Из расчета видно, что принятые параметры обработки не обеспечивают требуемой водопроницаемости почвенного профиля. Следовательно, при выпадении большого количества осадков на участке рыхления с большой долей вероятности возникнет переувлажнение. Таким образом, приведенный пример показывает необходимость проведения расчетов параметров обработки при планировании агрономелиоративных мероприятий.

Необходимо отметить, что для простоты использования в практических целях возможна реализация данной методики в номографическом варианте. Например, приведенная номограмма позволяет подобрать параметры глубокой обработки исходя из начальных значений коэффициентов фильтрации на участке осушенных земель. Использовать ее можно следующим образом.

Выбрав на поле изолиний исходных коэффициентов фильтрации значение $K_{ф}$, соответствующее реальным условиям, и опустив перпендикуляры на горизонтальную (H) и вертикальную (L) оси, получаем требуемые параметры обработки.

Для однострочных рыхлителей с фиксированной глубиной обработки выбирается точка на горизонтальной оси, соответствующая данной глубине. Из неё строится перпендикуляр до пересечения с соответствующей изолинией исходных коэффициентов фильтрации. Из полученной точки строится перпендикуляр к вертикальной оси, на которой считываются значения расстояний между проходами рабочих органов.

С помощью аналогичного построения, но выполненного в обратном порядке, можно определить требуемую глубину обработки при использовании многострочных рыхлителей с фиксированным расстоянием между проходами рабочих органов.



1 – $K_f=0,01$ м/сут; 2-8 – K_f равно, соответственно, 0,03; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15; 0,18 и 0,21 м/сут.

Номограмма для определения глубины обработки H и расстояния между проходами рабочих органов L при глубоком рыхлении в зависимости от исходного коэффициента фильтрации почвенного профиля K_f

Анализ номограммы также показывает, что при водопроницаемости почвенного профиля менее 0,01 м/сут эффективное проведение мероприятий по глубокому рыхлению трудновыполнимо, так как требует глубины обработки, часто превышающей глубину заложения дренажа, и слишком малого расстояния между проходами рабочих органов. Даже при возможности проведения мероприятия его энергоемкость становится очень высокой и, как правило, не окупается прибавкой урожая.

В заключение следует отметить, что расчеты по определению параметров обработки при глубоком рыхлении по условию требуемой водопроницаемости почвенного профиля следует выполнять с учетом формирования оптимальной для роста и развития растений плотности сложения почвы, так как на величину последней данное агромероприятие также оказывает существенное влияние [3]. Совместное решение задачи с учетом обоих факторов можно получить с помощью методов линейной оптимизации, например, при использовании симплекс-метода.

Выводы

1. По данным полевых экспериментов разработана математическая модель для расчета коэффициентов фильтрации почвенного профиля и их динамики на протяжении времени действия агромелиоративного приема по безотвальному глубокому рыхлению.

2. Модель позволяет с допустимой степенью достоверности определить требуемые параметры проведения рыхления (глубина обработки, расстояние между проходами рабочих органов рыхлителей), подобрать оптимальное оборудование для рыхления, установить периодичность проведения агромелиоративных мероприятий.

Литература

1. Зайдельман, Ф.Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв / Ф.Р. Зайдельман. – М.: Колос, 1975. – 320 с.
2. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсманн; пер. с нем. В.Н. Горинского; под ред. Ф.Р. Зайдельмана; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 247 с.
3. Копытовских, А.В. Оптимизация систем обработки почвы при структурной мелиорации минеральных земель / А.В. Копытовских // Монография. – Минск: Учебно-методический центр Минсельхозпрода, 2004. – 227 с.
4. Смирнов, А.М. Определение коэффициентов фильтрации водонасыщенных вертикально-неоднородных грунтов / А.М. Смирнов // Автореф. дисс... канд. техн. наук / СевНИИГиМ. – Л., 1971. – 21 с.
5. Карвовский, Т. Обработка почвы при интенсивном возделывании полевых культур / Т. Карвовский, И. Касимов, Б. Клочков / Пер. с польск. Н.А. Чупеева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 248 с.
6. Biyer, W.H. CRS Standard mathematical tables / W.H. Biyer. – 26th ed. – CRS Press, Inc., Boca Raton, FL, 1981. – 618 p.

Summary

Kopytovskikh A. Changing of Water Proofing of Cohesive Mineral Lands at Deep Subsurface Loosening

Complex methods were developed for expediency consideration of measures for deep loosening, exercised with the aim to provide required water proofing of soil profile. The methods enable selection of required parameters of loosening, i.e.: depth of loosening and distance between passages of working elements of ripper, and also assess dynamics of changing the filtration coefficients during years after the above measures and to determine periodicity of deep loosening.

Поступила 21 августа 2008 г.