

## ОПЕРАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО И ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМОВ ПОЧВЫ

Л. В. ШУЛЯКОВ, доцент  
Н. П. ХРУЦКАЯ, ст. преподаватель  
П. В. ЖАРЕНКОВ, инженер

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Гидромелиорация предоставляет наибольшие возможности для осуществления интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, а увеличение отдачи мелиорируемого гектара сопряжено с интенсификацией земледелия. Комплексное, научно обоснованное сочетание и использование таких факторов как интенсивные технологии, высокопродуктивные севообороты, может увеличить урожайность до потенциально возможных величин, удовлетворяя при этом требованиям окружающей среды [2, 3, 8, 9].

**Основная часть.** Анализ колебаний урожайности по годам, показывает, что эти колебания связаны с дефицитом тепла или с дефицитом влаги. Следовательно, получение высоких гарантированных урожаев при выращивании сельскохозяйственных культур, требует регулирования водного и питательного режимов. Для успешного осуществления регулирования факторов внешней среды, и в первую очередь водного и питательного режимов почвы, очень важно всемерное развитие комплексного системного подхода. Овладение биологическими закономерностями формирования урожая и совершенствование на их базе агрокультуры является резервом реализации потенциальной биологической продуктивности агроэкосистем. Здесь важно, чтобы экологические условия произрастания культурных растений соответствовали их биологическим особенностям.

Представляется возможным применить основные принципы и концепции экологии растений к регулированию факторов внешней среды, которое можно трактовать как одно из направлений конструктивной экологии. Для управления формированием урожая, моделирования и программирования этих процессов основным объектом являются экосистемы, и прежде всего антропогенные. Эти проблемы решаются преимущественно в области сельскохозяйственной деятельности, т. е. в агросфере.

Агробиогеоценозы являются не просто окультуренными биогеоценозами, а новыми природными системами, созданными человеком и функционирующими по своим законам. Их отличает от естественных ценозов наличие цели, антропогенного элемента в системе, фактора управления, регулируемости. Это биотехническая управляемая система культивируемого фитоценоза [7].

Для эффективного и экологически безопасного регулирования водного режима почвы, например, с помощью дождевания очень важно установить диапазоны влажности почвы и содержания в ней питательных элементов, в пределах которых создаются благоприятные условия для развития растений, исключаются потери воды. Одним из самых важных звеньев регулирования водного режима является диапазон нижней границы оптимальной влажности почвы, то есть целесообразный интервал доступной влаги в почве, ее запасы, которые могут быть наиболее продуктивно использованы растениями. При этом наблюдается самое благоприятное соотношение роста и деятельности корневой системы растений и их надземной части, обеспечивающее получение высокого урожая.

Теоретический расчет можно осуществить путем решения уравнения баланса вещества и энергии в объеме корнеобитаемого слоя, которое записывается в следующей дифференциальной форме:

$$dC/d\tau = -\text{div } q + j, \quad (1)$$

где  $C$  – содержание вещества или энергии в единице объема системы;

$q$  – плотность потока вещества или энергии;

$j$  – плотность стоков (источников).

Изменение влагозапасов в пределах рассматриваемого массива за расчетный период в объеме активной зоны аэрации почвогрунтовой толщи можно описать уравнением:

$$W_K - W_H = ((P + m)(1 - \alpha) - E - E_T) \Delta\tau, \quad (2)$$

где  $W_K - W_H$  – изменение запасов влаги за расчетный период времени;

$P + m$  – водоподача за счет осадков и увлажнения;

$E$  – суммарное испарение (эвапотранспирация);

$E_T$  – транспирация влаги корневой системой;

$\alpha$  – коэффициент потерь (стоков и сбросов);

$\Delta\tau$  – расчетный период.

Аналогично описываем изменение запасов питательных веществ

$$S_K - S_H = ((S_p + S_m)(1 - \beta) - S_T) \Delta\tau, \quad (3)$$

где  $\Delta S = S_K - S_H$  – изменение запасов питательных веществ за расчетный период;

$S_K, S_H$  – запасы питательных веществ на начало и конец периода, находящихся в почвенном растворе и в почвенно-поглощительном комплексе активной зоны аэрации;

$\beta$  – коэффициент потерь питательных веществ;

$S_T$  – количество питательных веществ, сорбируемых корневой системой растений;

$S_m$  – поступление питательных веществ за счет осадков и увлажнения.

В свою очередь

$$S_p = pC_p; S_m = mC_m,$$

где  $C_p, C_m$  – концентрации инфильтрационного потока осадков и вносимого в почву раствора.

Уравнения баланса влаги и питательных веществ являются конечно-разностными аналогами выражения, справедливы для верхнего слоя почвы зоны аэрации при условиях глубокого залегания грунтовых вод, которые, таким образом, не участвуют в подпитывании и увлажнении корневой системы растений. Имея данные наблюдений по текущим значениям интенсивности осадков, испарения, транспирации влаги, концентрациям вносимого раствора при увлажнении и выпадении осадков, по полученным зависимостям возможно оценить изменение содержания влаги и питательных веществ в почве за заданный период времени и использовать эту информацию для оперативного управления водным и питательным режимами почвы. Для эффективного и экологически безопасного регулирования водного режима почвы, например, с помощью дождевания очень важно установить диапазоны влажности почвы и содержания в ней питательных элементов, в пределах которых создаются благоприятные условия для развития растений, исключаются потери воды.

Одним из самых важных звеньев регулирования водного режима является диапазон нижней границы оптимальной влажности почвы, то есть целесообразный интервал доступной влаги в почве, ее запасы, которые могут быть наиболее продуктивно использованы растениями. При этом наблюдается самое благоприятное соотношение роста и деятельности корневой системы растений и их надземной части, обеспечивающее получение высокого урожая.

Кроме того, полевые опыты с различными культурами указывают на то, что в связи с изменением требовательности растений к водному режиму в течение вегетационного периода, нижний предел оптимальной влажности почвы необходимо принимать дифференцированно по

фазам развития растений. Результаты многолетних опытов, проведенных, с различными культурами, показали, что основная масса корней (до 90 %) даже в фазы активной вегетации условиях орошения располагается на небольшой глубине (до 0,5–0,6 м). Следует иметь в виду, что в зоне неустойчивого увлажнения возможны наложения осадков и поливов и, непродуктивные сбросы воды.

Таким образом, уровень водообеспеченности растений оказывает влияние на их водный режим в зависимости от погодных условий. Чем выше температура и ниже влажность воздуха, тем труднее растению в условиях низкой влажности почвы поддерживать параметры водного режима листьев на необходимом уровне. В то же время совершенно очевидно, что гомотогидрические растения способны поддерживать свой нормальный водный режим в довольно широком диапазоне влажности почвы. Величина этого диапазона, по-видимому, будет колебаться для одного и того же вида растений в зависимости от почвенных, и особенно климатических, условий и общего числа хлоропластов в растении.

Важным показателем состояния водного режима растений является интенсивность транспирации. На этот процесс влияют как экзогенные (влажность почвы, температура и влажность воздуха, солнечная радиация, сила ветра и т. д.), так и эндогенные (физико-химическое состояние коллоидно-плазменной системы, физиолого-биохимические регуляторные механизмы) факторы.

Значение транспирации очень велико. С транспирационным током воды происходит передвижение питательных веществ из почвы через корни в надземные органы, регулируется температура растения. Основная часть транспирации осуществляется через устьичный аппарат, через него же в обратном направлении осуществляется диффузия углекислоты из воздуха к хлоропластам. Совершенно определенно установлено, что интенсивность транспирации зависит от условий водообеспеченности. Чем выше влажность почвы, если она не является избыточной и не нарушает нормальный воздушный режим, тем выше транспирация и наоборот.

Следует учитывать в снабжении растений водой не только количество доступной влаги в почве, но и скорость ее передвижения. Равенство скоростей движения воды в почве и в растении можно считать необходимым условием оптимальности водного режима. Недостаток влаги будет наблюдаться в случае передвижения ее в почве со скоростью меньшей, чем в растении. Интенсивное поступление воды к корневой системе, превышающее ее поглощение, влечет за собой сниже-

ние аэрации. Чем больше воды в почве, тем меньше воздуха, и наоборот: в сухой почве много воздуха, но нет влаги; при затоплении нет воздуха, но много влаги. Следовательно, почвенная влага и почвенный воздух – факторы неслучайные, а закономерно изменяющиеся, вода и воздух в почве являются, таким образом, антагонистами.

Оптимальную для растения влажность почвы надо признать самым существенным фактором, поэтому следует рассматривать не наличие какой-то доли ее от влагоемкости, а наиболее благоприятное для жизнедеятельности корневых систем сочетание воды и воздуха в почве. Существует мнение, что вода сама по себе не вредна для растений независимо от ее количества в почве. Но при ее избытке затрудняется приток кислорода к корневым системам и отвод углекислоты в атмосферу, нарушается аэрация, создаются анаэробные процессы. Приняв во внимание первый закон биологии факторы жизни незаменимы и равнозначны, можно предположить, что оптимум водного режима будет наблюдаться в том случае, когда объем активной порозности почвы будет в равной степени занят влагой и воздухом.

Оптимальное содержание питательных элементов в почве, а также необходимые для этого виды и дозы удобрений вытекают из известного закона возврата, открытого в прошлом столетии Юстасом Либихом: «Вещество и энергия, отчужденные из почвы урожаем, должны быть компенсированы (возвращены в почву) с определенной степенью превышения». Только таким образом реально поднять эффективное плодородие земли, и в итоге – урожайность. Соблюдение закона возврата оборачивается и другим преимуществом: получением экологически чистой продукции.

Выполненные полевые опыты позволили установить в конкретных условиях произрастания изменяющиеся по фазам развития растений потребности в обеспечении водой и питательными элементами и на основании этого разработать комплекс приемов регулирования водного и питательного режимов, создающих условия для наиболее полного использования почвенно-климатических условий, внедрения эффективных ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Водосбережение может быть достигнуто путем максимизации продукционного процесса растений при незначительном по времени дефиците воды, учитывая способность их к саморегуляции, мобилизации жизненных функций и усиливая эти способности путем создания оптимального для растений уровня минерального питания с помощью удобрений.

Максимальный урожай формируется лишь при максимально возможном при данных метеорологических условиях водопотреблении, не ограниченном ни недостатком, ни избытком влаги в почве. И первым признаком водного голодания, когда растение только начинает испытывать затруднение в водоснабжении, является снижение транспирации. Интенсивная транспирация соответствует большей апертуре устьичных щелей (что определяет интенсивную диффузию углекислого газа) и вызывает активное поглощение воды и минеральных веществ из почвы.

Впервые было показано А. И. Будаговским [1], затем подтверждено М. Г. Санояном [6], что критическая влажность связана с испаряемостью линейной зависимостью:

$$W_k = W_3 + \gamma E_0, \quad (4)$$

где  $W_k$  – критическая влажность почвы;

$W_3$  – влажность устойчивого завядания;

$\gamma$  – коэффициент;

$E_0$  – потенциальная транспирация.

Из уравнения следует, что чем выше потенциальная транспирация (или испаряемость), тем большей должна быть влажность почвы, обеспечивающая нормальное водоснабжение растений. И наоборот, чем ниже испаряемость, тем при меньшей влажности почвы будет обеспечиваться условия достаточного увлажнения.

При оптимизации водного режима растений Г. И. Афанасик и др. [2] в качестве исходного уровня предполагают такое состояние системы «почва-растение-воздух», при котором обеспечивается потенциально возможная в конкретных условиях погоды транспирация, а, следовательно, и максимальное суммарное испарение. Используя данное положение А. П. Лихацевич [5] аналитически описывает уровень оптимальности водно-воздушного режима почвы, учитывающий условия водопотребления трав. Полученная аналитически функция, как отмечает автор, имеет довольно громоздкий вид, что затрудняет ее широкое применение.

Учитывая, что чаще всего в условиях орошения зависимость суммарного испарения имеет тесную корреляционную связь с температурой воздуха получено для заданного расчетного периода (декада) следующее выражение:

$$V_0 = V_{\min} + \frac{V_{\max} - V_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} (t - t_{\min}), \quad (5)$$

где  $V_0$  – нижний предел оптимальной влажности;

$V_{\min}$  – критическая влажность почвы, соответствующая минимальному для данной культуры водопотреблению;

$V_{\max}$  – нижний предел оптимальной влажности почвы при максимальном для данной культуры суммарном испарении;

$t$  – средняя за расчетный период суточная температура воздуха, °С;

$t_{\max}$  и  $t_{\min}$  – соответственно биологический температурный максимум и минимум для растений.

Определение нижней границы оптимальной влажности выполнено для интерпретации результатов опытов по комплексному регулированию водного и питательного режимов суглинистой почвы при возделывании картофеля. Идентификация модели (расчетных зависимостей) проведена путем нахождения кардинальных точек и коэффициентов с использованием экспериментальной информации.

После преобразований тогда нижний предел оптимальной влажности можно определить как:

$$V_0 = V_{\text{НВ}} (0,22 + 0,026t), \quad (6)$$

где  $V_0$  – нижняя граница оптимальной влажности почвы;

$V_{\text{НВ}}$  – наименьшая влагоемкость почвы;

$t$  – среднесуточная температура воздуха за декаду, предшествующую расчетному периоду.

Температура воздуха определяется известными методами. Таким образом, по приведенной зависимости, представляется возможным рассчитать декадные значения нижнего предела оптимальной влажности почвы в пределах наблюдаемых значений среднесуточной температуры воздуха.

Имея данные наблюдений по текущим значениям интенсивности осадков, испарения, транспирации влаги, концентрациям вносимого раствора при увлажнении и выпадении осадков, по полученным зависимостям возможно оценить изменение содержания влаги и питательных веществ в почве за заданный период времени и использовать эту информацию для оперативного управления водным и питательным режимами почвы.

**Заключение.** Проведенные нами исследования по комплексному регулированию водного и питательного режимов почвы позволили установить влияние уровня минерального питания на способность растений адаптироваться к изменению влагообеспеченности и другим факторам, лимитирующим урожайность. Для решения данной задачи наиболее обоснованным применением уравнений баланса, положенных

в основу теории энерго- и массообмена, отражающих законы сохранения энергии вещества и энергии в природе. Они позволили описать на микроуровнях закономерности обмена влаги и питательных веществ в корнеобитаемой среде, в зависимости от характеристик влагопроводности почвогрунта и интенсивности испарения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Будаговский, А. И. Испарение почвенной влаги / А. И. Будаговский. – Москва: Наука, 1965. – 344 с.
2. Изменение климата и использование климатических ресурсов / И. Я. Аликина [и др.]. – Минск: БГУ, 2001. – 262 с.
3. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – Москва: ИНФРА-М, 2016. – 336 с.
4. Комплексное регулирование условий жизни растений на торфяных почвах / Г. И. Афанасик [и др.]. – Минск: Ураджай, 1988. – 136 с.
5. Лихацевич, А. П. Исследование режима дождевания и мелкодисперсного увлажнения многолетних трав на торфяных почвах Белорусского Полесья: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. П. Лихацевич. – Минск, 1982. – 24 с.
6. Саноян, М. Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влагообеспеченностью посевов / М. Г. Саноян. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 296 с.
7. Усков, А. И. Управление продуктивностью агробиогеоценозов в системе нососферы / А. И. Усков // Управление продукционными процессами в агроэкосистемах. – Москва: Наука, 1976. – С. 21–27.
8. Факторы воздействия на окружающую среду / О. В. Кадацкая [и др.] // Состояние природной среды Беларуси. – Минск, 2007. – С. 298–329.
9. Шуляков, Л. В. Комплексное регулирование водного и питательного режимов почвы при возделывании сельскохозяйственных культур / Л. В. Шуляков // Проблемы мелиоративного строительства и водохозяйственного обустройства сельских территорий на современном этапе. – Горки, 1998. – С. 22–27.

*Аннотация.* Установлено влияние уровня минерального питания на способность растений адаптироваться к изменению влагообеспеченности и другим факторам, лимитирующим урожайность. Для решения данной задачи применены уравнения баланса, положенных в основу теории энерго- и массообмена, отражающих законы сохранения энергии вещества и энергии в природе. Они позволяют описать на микроуровнях закономерности обмена влаги и питательных веществ в корнеобитаемой среде в зависимости от характеристик влагопроводности почвогрунта и интенсивности испарения.

*Ключевые слова:* регулирование, уравнения баланса, водный режим растений, энерго- и массообмен, питательные элементы.