

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ, ПОТЕРЬ И ВОЗВРАТА ВЛАГИ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВНУТРИПОЧВЕННОМ ВЛАГООБМЕНЕ

**© 2014 г. Н. А. Муромцев¹, Н. А. Семенов²,
Ю. А. Мажайский³, К. Б. Анисимов¹**

¹*Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии,
119017, Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2
e-mail: muromcev39@mail.ru*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт кормов им.
В.П. Вильямса, 141055, Московская область, Лобня*

³*ООО “Межерский научно-технический центр”, Рязань, ул. Типанова, 7*

Экспериментальными исследованиями установлены соотношения инфильтрации и испарения грунтовых вод в дерново-подзолистой почве, которые составляют для среднезасушливых условий атмосферного увлажнения 0.3–0.6, среднемоголетних 2.6–2.9 и средневлажных 2.6–2.9. Потери калия, кальция, магния, цинка и марганца под злаковым травостоем составили соответственно 0.95, 89.0, 37.7, 1.42 и 1.40 кг/га в год. С капиллярным подпитыванием возвращается в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы 0.19 кг/га калия или 20% от потерь с инфильтрацией атмосферных осадков, затем следуют марганец (16.4% от потерь), кальций (15.0%), цинк (13.4%) и замыкает ряд магний (9.0%). Показано, что испарение влаги с поверхности почвы при близком стоянии к поверхности грунтовых вод приводит к разрыву капиллярных связей. С увеличением мощности монолита почвы в лизиметре объемы инфильтрации влаги и выноса нитратов уменьшаются под обоими видами травостоя (злакового и бобово-злакового).

Ключевые слова: внутрипочвенный влагообмен, грунтовые воды, капиллярная кайма, лизиметры, химические элементы, инфильтрация, испарение грунтовых вод, потоки влаги.

Минерализация грунтовых вод зависит от сложного взаимодействия солевых растворов, протекающего при вертикальном обмене нисходящих и восходящих потоков влаги и солей от грунтовых вод к поверхностному (корнеобитаемому) слою почвы и обратно. Рассматривая грунтовые воды (**ГВ**) как возможный ис-

точник водоснабжения и минерального питания растений, следует отметить недостаточную изученность этого вопроса, особенно для гумидной зоны. Учет расхода (испарения) ГВ в корнеобитаемый слой почвы и определение доли их в эвапотранспирации позволит не только экономно расходовать поливную воду, но и совместно с орошением обеспечить оптимальные условия влагообеспеченности растений. Это в свою очередь создаст условия для уменьшения фильтрационных потоков из зоны аэрации в ГВ, сокращения выноса питательных веществ из почвы и ее загрязнения.

Внутрипочвенный обмен влагой и химическими веществами, обусловленный нисходящим (инфильтрацией, I) и восходящим (испарение грунтовых вод, K) потоками, по мнению многих ученых (Муромцев, 1991; Муромцев и др., 2013; Meissner at al., 2010; Weiermüller at al., 2007), является важнейшим гидрофизическим и гидрохимическим процессом. От соотношения двух разнонаправленных потоков влаги и химических веществ зависят тип водного режима, особенности и интенсивность формирования влаги и химических веществ в почвах, а также их эффективное плодородие. Потери химических веществ с инфильтрационными потоками влаги из почв очень велики (Семенов и др., 2002) и значительно лучше изучены, чем компенсация этих потерь за счет химических веществ из грунтовых вод. В связи с определенными трудностями экспериментального определения подпитывания грунтовыми водами информация в научной литературе по данной проблеме ограничена и недостаточна для окончательных обобщений.

Материалы экспериментальных исследований получены в разные годы с использованием лизиметров: Почвенного института им. В.В. Докучаева (Шишов и др., 2001), конструкции ВСЕГИНГЕО на полигоне Всероссийского института кормов им. В.Р. Вильямса (Семенов и др., 2005) и павильона Мещерского филиала ВНИИГиМ (Пыленок, 2004). Конструкция лизиметров, методика и технология их использования подробно описаны в работах (Методические рекомендации..., 1979; Шишов и др., 2001, Шуравлин и др., 2011).

В полном виде водный баланс расчетного слоя почвы может быть представлен в следующем виде:

$$W_0 + W_{oc} + W_{\Gamma} + W_k + W_{\text{пр}} + W_{\text{б}} = E_{\text{исп}} + E_{\text{т}} + W_{\text{ин}} + W_{\text{пс}} + W_{\text{с}} + W_{\text{кз}} \quad (1),$$

где W_0 – запас влаги в почве в начале наблюдения; $W_{кз}$ – запас влаги в почве в конце наблюдения; $W_{ос}$ – осадки (+ поливы); $W_{г}$ – приток влаги из грунтовых вод; $W_{к}$ – конденсационная влага; $W_{пр}$ – поверхностный приток; $W_{б}$ – боковой приток; $E_{исп}$ – физическое испарение; $E_{т}$ – транспирация растений; $W_{ин}$ – инфильтрация; $W_{пс}$ – поверхностный сток; $W_{с}$ – боковой сток. Левая часть уравнения (1) – приходная, а правая – расходная части водного баланса. В силу того, что $W_{к} \approx 0$, а $W_{пр} \approx W_{пс}$ и $W_{б} \approx W_{с}$ в большинстве случаев для практических целей используют уравнение:

$$W_0 + O_{с} + W_{г} = E_{исп} + E_{т} + W_{ин} + W_{к}. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) относительно $W_{к}$ примет вид:

$$W_{к} = W_0 + O_{с} + W_{г} - E_{исп} - E_{т} - W_{ин}. \quad (3)$$

В уравнении (3) $W_{г}$ – приход влаги из ГВ или испарение ГВ, обозначим символом I , а $W_{ин}$ – инфильтрацию – K , как это принято в наших работах, например (Муромцев и др., 2013).

Роль параметров внутрипочвенного влагообмена лизиметра видна из уравнения водного баланса лизиметра, записанного относительно суммарного испарения:

$$E_{с} = O_{с} + П + K - I \pm \Delta W, \quad (4),$$

где $E_{с}$ – суммарное испарение, мм; $O_{с}$ – осадки, мм; $П$ – поливы, мм; K – испарение ГВ, мм; I – инфильтрация; мм; $\pm \Delta W$ – изменение запасов почвенной влаги за расчетный период (от t_1 до t_2), мм.

С гидрологической точки зрения лизиметр представляет собой устройство, в котором заключен элементарный участок зоны аэрации с моделью уровня ГВ (Муромцев, 1991; Пыленок, 2004; Роде, 2008; Панов, 2011).

На рис. 1 представлена схема лизиметрической установки и прибора автоматического регулирования уровня воды в лизиметре, используемая Институтом кормов им. В.Р. Вильямса и Мещерским филиалом ВНИИГиМ.

Соотношение элементов водного баланса, процессы вымывания и возврата химических элементов в дерново-подзолистой почве рассмотрены с использованием данных, полученных в лизиметрах Института кормов с мощностью почвенного профиля (зоны аэрации) глубиной 130 см; интенсивность и объемы потерь химических веществ в зависимости от мощности почвенного про-

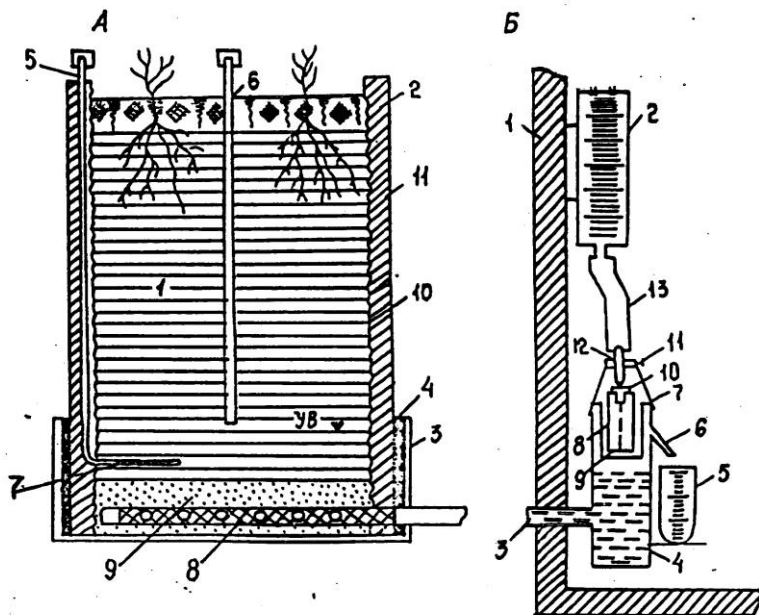


Рис. 1. Схема лизиметрической установки (А) и прибора автоматического регулирования уровня воды в лизиметре (Б). *Лизиметрическая установка:* 1 – монолит почвогрунта ($1 \times 1 \text{ м}^2$); 2 – бетонный заполнитель; 3 – поддон; 4 – заполнитель из битума; 5 – пьезометр; 6 – трубка для наблюдения за влажностью с помощью нейтронного индикатора; 7 – фильтр пьезометра; 8 – трубчатый фильтр с сеткой; 9 – песчаный фильтр; 10 – битумная изоляция на стенке монолита; 11 – кассета. *Прибор автоматического регулирования уровня воды в лизиметре:* 1 – стенка наблюдательного павильона; 2 – питающий бачок; 3 – соединительная трубка; 4 – регулирующая трубка; 5 – сливной стакан; 6 – сливная трубка; 7 – каркас поплавковой системы; 8 – поплавок; 9 – ось поплавка; 10 – чашечка поплавка; 11 – запирающий болт крепления пипетки; 12 – пипетка; 13 – шланг.

филя лизиметра и азотных удобрений – с использованием лизиметров глубиной 35 и 70 см. Содержание химических веществ в инфильтратах и грунтовых водах определяли с использованием обычных в агрохимии и химии почв методов (Аринушкина, 1970).

Исследуемая дерново-подзолистая суглинистая глубокоогулененная почва на покровном суглинке (слабовыраженный склон

опытного участка ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса) имеет следующее морфологическое строение:

АУ, 0–6 см. Дернина, светло-серая с буроватым оттенком, свежая, связная, мелкокомковато-пылеватая, рыхловатая.

АУ 1, 6–20 см. Серый, слегка желтовато-палевый, свежий, плотный, мелкокомковато-пылеватый, легкий (до среднего) суглинок, множество тонких корней. Переход заметный.

ЕL, 20–29 см. Серый с беловатым оттенком, свежий, плотнее предыдущего, непрочнокомковато-пористый (видна слоистость, пластинчатость), отдельные ржаво-бурые пятна, кварцевый блеск, языковат, средний суглинок, корешки. Переход заметный.

ВТ 1, 29–62 см. Желтовато-буроватый с белесыми затеками (длинными узкими языками из гор. ЕL), влажноват, крупнокомковато-глыбистый (разламывается на призмы, ореховатый), на гранях излома порошистая светло-белесая присыпка, корешки, средний (до тяжелого) суглинок, очень плотный, черные точки железисто-марганцевых соединений. Переход заметный по окраске.

ВТ 2, 62–115 см. Более однородный по цвету, чем предыдущий, желтовато-палевый, сыроватый, крупноореховатый, глыбистый, тяжелый суглинок, в нижней части глееватый, камешки, плотноват, тонкие линзы песка, черные по цвету включения конкреций марганца и железа, на изломе структурных граней цвет слегка вишневат-малиновый. Переход постепенный.

ВТg, 115–150 см. Палево-желтый, сырой, опесчаненный (до среднего) суглинок, глыбистый, марганцевистые точки и жилки, плотноват, перемешан песчинками (нож входит с хрустом), в нижней части прослойка песка желтые по окраске, влажный, с блеском, глееватый. Переход постепенный по окраске, заметный по сложению.

Сg, 150–210 см. Светло-желтый с палевым оттенком, сырой, липкий, более легкий по гранулометрическому составу, чем предыдущий, пылеватый легкий суглинок, оглеен, линзы желтого по цвету песка (среднего размера песчинки), при отборе образца на такой глубине почвообразующая порода обваливается, возможно, наличие водоносного слоя (верховодка).

Ранее (Шишов и др., 2001) показано, что роль грунтовых вод в эвапотранспирации и формировании урожая культур может быть значительной. Доля расхода влаги из ГВ в эвапотранспирации разных культур на дерново-подзолистой почве составляет 19–38%. В длительные засушливые периоды суммарный расход влаги из зоны аэрации и ГВ может достигать, по нашим данным, 40–50% от суммарного испарения. Степень влияния вида сельскохозяйственной

культуры на испарение грунтовых вод также может быть значительна. Когда ГВ находятся на глубине 1.5 м травосмесь с ежой сборной, обладающая большей биомассой, расходует больше воды и большее суммарно ее испаряет, чем тимopheечно-овсяничный травостой. При уровне ГВ 2.0 м расходы и суммарное испарение в обоих вариантах примерно одинаковы (Семенов и др., 2002).

Экспериментальные данные, характеризующие содержание, вымывание и возврат химических веществ в почву под злаковым травостоем представлены в табл. 1 и 2. Максимальное содержание кальция достигает 90.1, а минимальное – 55.0 мг/л. Максимальные и минимальные концентрации некоторых других ионов находятся в пределах: магния – 12.1 и 5.6, цинка – 0.081 и 0.007 и марганца 0.123 и 0.063 мг/л соответственно.

В дерново-подзолистой почве соотношение инфильтрации и испарения грунтовых вод составляет 0.3–0.5 для среднезасушливых условий, 2.5–2.7 для средневлажных и 2.6–2.8 для среднемноголетних условий. Наименьшие значения отношения отмечены для среднезасушливых условиях, максимальные – при средневлажных, что отражает реальные особенности протекания процессов инфильтрации и испарения грунтовых вод в зависимости от суммы осадков и степени обводненности зоны аэрации.

Максимальные значения выноса химических элементов, наблюдаются в вегетационный и в осенне-зимний периоды. В годовом цикле больше всего выносятся кальция – 89.0 кг/га. По объему выноса химические элементы образуют убывающий ряд: кальций – магний – цинк – марганец – калий.

С капиллярным подпитыванием возвращается в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы калия 0.19 кг/га или 20% от потерь, затем следуют марганец (16.4% от потерь), кальций (15.0%), цинк (13.4%) и замыкает ряд магний (9.0%). Убывающий ряд: калий – марганец – кальций – цинк – магний. Для сравнения укажем, что из аллювиальной суглинистой почвы объем возврата химических веществ из ГВ составляет значительно бóльшие величины (Муромцев, Семенов, 2005): кальция (200–160 кг/га) или 104–77% от потерь, затем следуют цинк (82–53%), марганец (65–44%), и замыкает ряд магний (54–25%). Различия в объемах возврата химических веществ этих двух почв объясняются тем, что

Таблица 1. Содержание химических элементов в инфильтрационном стоке лизиметров (среднее за год), мг/л

Содержание химических элементов, мг/л	K	Ca	Mg	Zn	Mn
Максимальное	2.6	90.1	12.1	0.081	0.123
Минимальное	0.7	55.0	5.6	0.007	0.063
Среднее	1.4	80.1	8.8	0.053	0.089

Таблица 2. Вымывание химических веществ и возврат их из грунтовых вод в почву лизиметров с мощностью почвенного слоя 130 см

Период наблюдений	K	Ca	Mg	Zn	Mn
Вымывание химических элементов, кг/га					
Вегетационный (V–IX)	0.47	43.0	19.3	0.65	0.65
Осеннее-зимний (X–II)	0.30	29.7	11.1	0.44	0.51
Ранневесенний (III–IV)	0.18	16.3	7.3	0.33	0.24
Годовой	0.95	89.0	37.7	1.42	1.40
Возврат химических элементов, кг/га					
Годовой	0.19	14.2	3.4	0.19	0.23
Возврат химических элементов, % от вымытого					
Годовой	20.0	15.0	9.0	13.4	16.4

испарение ГВ из аллювиальной почвы в два с лишним раза больше, чем из дерново-подзолистой. Интересно сравнить их с имеющимися аналогичными данными по другим почвам и регионам.

Например, весьма впечатляющие результаты поступления солей из ГВ в корнеобитаемый слой ирригационно-гидроморфных почв отмечены в степной зоне Южного Урала (Панов, 2011; Шуравилин и др., 2011). Установлено, что с уменьшением ресурса влагообеспеченности (P) поступление солей увеличивается при всех уровнях ГВ. При *уровне* ГВ 1.0 м поступление солей при $P = 5\%$ составило 6.78 т/га, при 50% – 9.80 т/га, а при 95% – 13.32. Аналогичным образом эта особенность соблюдается и при уровне ГВ 1.5 и 2.0 м. При понижении ГВ от 1.0 до 2.0 м поступление солей резко уменьшается: при $P = 5\%$ поступление солей при уровне ГВ 1 м составило 6.78 т/га, а при понижении ГВ до 2.0 м оно уменьшилось до 0.10 т/га. То же можно сказать о накоплении солей и при других уровнях водообеспеченности, в пределах от $P = 5\%$ до 95%.

Интенсивность испарения влаги с поверхности почвы зависит от многих факторов и, прежде всего, от уровня стояния грунтовых вод. Исследуя этот процесс для условий близкого к поверх-

ности стояния ГВ, установили ряд особенностей (Муромцев, 2005), в том числе явление разрыва капиллярных транзитных путей при высоком содержании влаги в почве. Физическая сущность процесса заключается в несоответствии интенсивности потока почвенной влаги (расход влаги из ГВ) интенсивности испарения с поверхности. Ликвидации разрывов, поступающей из ГВ влаги, препятствуют пузырьки воздуха, которые при определенных условиях могут соединяться в различные по размерам воздушные полости.

Сработка капиллярной каймы (КК) при испарении влаги с поверхности почвы в условиях высокого стояния грунтовых вод может достигать значительных размеров по мощности и затрагивать большую часть КК или практически всю ее зону. В связи с этим можно предположить, что в условиях, когда уровень ГВ находится близко к поверхности почвы, например, на глубине 40–50 см, сработка будет осуществляться вплоть до зеркала ГВ.

С целью повторной проверки этого положения проведены исследования с использованием почвенной колонны с моделью грунтовых вод и в условиях уровня ГВ, расположенного последовательно на глубинах 55, 40, 30 и 20 см от поверхности. Тензиометры, установленные на этих же уровнях, при изменении глубины ГВ оказывались на разном расстоянии от ГВ, в том числе и под их уровнем.

Анализ полученных материалов (рис. 3 и табл. 4) свидетельствует о том, что при уровне ГВ, равном 55 см от дневной поверхности, показания только первого тензиометра, установленного в пределах зеркала вод, соответствуют отметке уровня ГВ. Показания остальных приборов указывают на наличие водного дефицита в КК даже в самой ее нижней части. С увеличением расстояния от уровня ГВ от 15 до 35 см, расхождения между показаниями приборов и отметками уровня ГВ возрастают с –8 до –36 см водн. ст. Это свидетельствует о том, что вся КК, представляющая собой в данном случае зону аэрации, является толщей активного влагооборота; потеря влаги происходит одновременно из всей 55-сантиметровой толщи. С повышением уровня ГВ (соответственно до 40, 30 и 20 см от поверхности) расхождение показаний тензиометров, расположенных над уровнем ГВ, и расстояний их установки до уровня ГВ, уменьшаются.

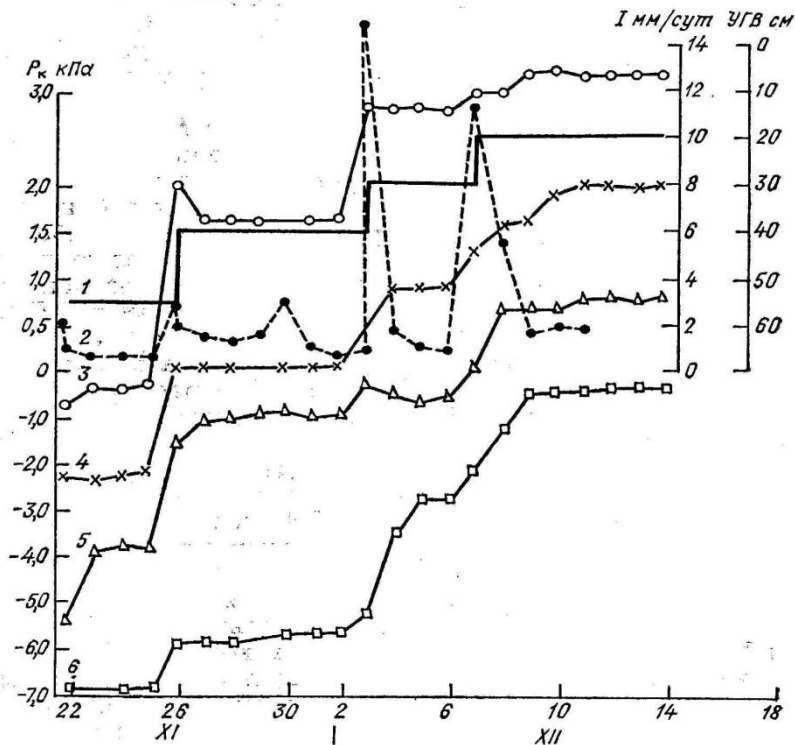


Рис. 2. Уровень ГВ (1), интенсивности расхода грунтовых вод на глубине 5 см от УГВ (2) и динамика потенциала влаги (P_k) на глубинах: 3 – 5; 4 – 15; 5 – 25; 6 – 35 см от уровня ГВ.

Таблица 3. Дефициты влаги (< полной влагоемкости) при испарении ГВ в условиях близкого их стояния к поверхности почвы (1 – показание тензиометра; 2 – дефицит влаги в КК), см водн. ст.

Уровень ГВ	Т1		Т2		Т3		Т4		I, мм/сут
	1	2	1	2	1	2	1	2	
55	0	0	-22	-7	-37	-12	-68	-13	0.7–1.1
40	+16	0	0	0	-10	0	-55	-45	1–2
30	+28	0	+9	0	-5	-5	-30	-20	1–
20	+35	0	+20	0	+7	0	-5	-5	2→15 2→11

Примечание. Т1–Т4 – номера тензиометров.

Таблица 4. Состояние капиллярной каймы (КК) при уровне грунтовых вод (УГВ) 55 см от поверхности почвы

Уровень КК от грунтовых вод, см	Расстояние от уровня КК от поверхности почвы, см	Энергетическое состояние капиллярной каймы, см водн. ст.		Дефицит водонасыщения КК, см. водн. ст.
		теоретическое	по показаниям тензиометров	
15	40	-15	-22	-7
35	20	-35	-68	-33

В табл. 5 представлена информация о состоянии отдельных частей КК, характеризующей дефицитом водонасыщения. Она свидетельствует о том, что дефицит водонасыщения на уровне КК 15 и 35 см от ГВ составляет соответственно -7 и -33 см водн. ст.

Интенсивность расхода ГВ при их уровне 55 см находится в пределах 0.7–1.1 мм/сут, а при 20 см – 1.5–1.7 мм/сут. Следовательно, при понижении уровня ГВ с 20 до 55 см от поверхности почвы запасы влаги в КК и интенсивность расхода ГВ уменьшаются. Максимальная интенсивность расхода ГВ наблюдается в процессе заполнения порового пространства (компенсация недостатка водонасыщения) при поднятии уровня ГВ, т.е. при установке ГВ на новом, более высоком уровне. Например, при поднятии уровня ГВ с 55 до 40 см интенсивность потока возрастает в течение одних суток до 3 мм, а затем уменьшается до 1.1–1.5 мм/сут. Максимальное значение интенсивности расхода ГВ отмечено при повышении их уровня с 40 до 30 и с 30 до 20 см: в течение первых суток это значение составляет 11–15 мм/сут. И это очень высокий уровень расхода.

На интенсивность влагообмена в системе почва–грунтовые воды существенное влияние оказывает мощность почвенного профиля лизиметра, внесенные удобрения и вид травостоя. Как показали предыдущие исследования, с увеличением мощности монолита почвы объем инфильтрации влаги и вынос нитратов зависят от вида травостоя (Семенов, Муромцев, 2006). Объем инфильтрации под злаковым травостоем больше по сравнению с объемом инфильтрации под бобово-злаковым травостоем, а потери азота из слоев почвы 0–35 и 0–130 см под злаковым травостоем меньше, чем под бобово-злаковым (табл. 6).

Таблица 5. Влияние мощности почвенного монолита и вида травостоя на инфильтрационный сток и содержание нитратов в нем за вегетационный период 2005 г. (Семенов и др., 2005)

Вариант опыта		Объем инфильтрационного стока по месяцам вегетационного периода, л/м ²					Суммарный объем инфильтрационного стока, л/м ²	Содержание нитратов в стоке, мг/л
глубина монолита, см	травостой	V	VI	VII	VIII	IX		
35	Злаковый	19.7	14.2	21.8	21.0	7.3	74.0	1.3
35	Бобово-злаковый	7.9	8.9	11.1	9.8	9.3	47.0	8.1
130	Злаковый	5.6	9.4	9.0	10.3	6.7	41.0	1.0
130	Бобово-злаковый	3.7	4.8	6.0	5.5	3.0	23.0	2.4

Объемы вымывания весьма существенно зависят не только от мощности фильтрующего слоя (мощности слоя почвогрунтов), но и от вида и формы удобрений. При увеличении норм удобрений (аммиачная и нитратная формы) от N180 до N480 потери общего азота, нитратов, фосфора, калия, кальция и магния существенно возрастают: в 1.5–6.0 раз общего азота, 3.5–8.0 нитратного азота, и 1.2–2.7 раза других химических элементов. Однако это увеличение сильно зависит от мощности почвенного слоя и формы азотного удобрения. Различно оно и для каждого химического элемента (Семенов и др., 2005).

Существенную роль в формировании инфильтрационного стока играет качество дернины многолетних трав и способы ее залужения. В 2007 г. организованы опыты по запашке в верхний корнеобитаемый слой почвы лизиметров измельченной биомассы древесной растительности: березы, ивы, вейника наземного, осины и дернины луга. Насколько нам известно, внесение измельченной массы древесных (кустарниковых) растений, к сожалению, пока не практикуется. Двенадцати–пятнадцатилетние деревья обычно пытаются запахивать при распашке многочисленных перелогов и заброшенных земель, образовавшихся в 90-х годах XX в. В результате деревья оказываются на поверхности почвы. Внешение измельченной древесной массы березы, ивы, осины и вейника проводили с целью изучения направления и масштабов воз-

действия на физическое состояние почвы и ее производительность.

Опыты проводили в лизиметрах в 3–4-кратной повторности. В 2006 г. в них был заменен пахотный слой на почву залежи, уплотнен, затем на глубине 10–22 см была уложена биомасса (расчетная), т/га: из ивы – 13.6; березы – 27.7; осины – 28.6; вейника – 17.2. Заделка в почву выполнена по способу отвальной обработки с укладкой на дно борозды биомассы без ее измельчения.

Далее (май 2007 г.) высеян райграсс однолетний (сорт Рапид); после появления всходов внесены удобрения в дозе N60P60K60. Получено 2 укоса. Весной 2008 г. под покров райграсса высеяны злаковая и злаково-бобовая травосмеси. В вариантах удобряемых внесены N45K45 под злаковую и K45 – бобово-злаковую травосмеси. В сумме за 2 года внесено N105P60K105, а с учетом содержания азота, фосфора, калия, кальция в запаханной биомассе, было внесено, соответственно: под иву – 239, 176, 206, 117; осину – 449, 237, 327, 222; березу – 406, 269, 272, 171 и вейник – 195, 146, 256, 44. На пашню (контроль) внесено 105, 60, 105, 0 кг/га действующего вещества.

Исследования показали, что объем инфильтрации максимален на пашне (206 л/м²), а минимален в варианте с разнотравно-злаковым травостоем (на контроле) – всего 52 л/м². В вариантах с запаханной биомассами различной древесной растительности объем инфильтрата находится в пределах 170–194 л/м² и мало чем различается по вариантам. Содержание кальция (мл/л) по вариантам в инфильтрате опыта можно записать в виде возрастающего ряда следующим образом: контроль (14.0) < дернина луга (34.3) < ивы (34.7) < пашни (41.6) < березы (44.1) < вейника (45.9) < осины (46.1). В вариантах с удобрениями концентрация кальция заметно меньше, что объясняется, по-видимому, большим отчуждением его с биомассой райграсса. То же можно сказать и об особенностях потерь кальция с инфильтратом. Они значительно меньше в вариантах с удобрениями, чем в опыте без удобрений. Максимальная потеря отмечена под пашней (98.2 кг/га), затем следуют варианты с запаханной: осинной (85.8), березой (85.5), вейником (78.0), ивой (60.4), дерниной луга (39.2) и, наконец, контроль (7.3 кг/га).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальные значения суммарного испарения почвенной влаги и инфильтрации наблюдаются в средневлажных условиях, а испарение грунтовых вод – в среднезасушливых условиях атмосферного увлажнения. Соотношение инфильтрации и испарения грунтовых вод в дерново-подзолистой почве составляет 0.3–0.6 для среднезасушливых, 2.6–2.9 средневлажных и 2.6–2.9 средне-многолетних условий атмосферного увлажнения.

В годовом цикле больше всего из дерново-подзолистой суглинистой почвы выносятся кальция – 90 кг/га. По объему выноса изученные химические элементы образуют убывающий ряд: кальций – магний – цинк – марганец – калий. Потери калия, кальция, магния, цинка и марганца под злаковым травостоем составили соответственно 0.95, 89.0, 37.7, 1.42 и 1.40 кг/га за год.

С капиллярным поднятием (в процессе испарения грунтовых вод) в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы возвращается химических элементов: калия 20%, марганца 16.4%, кальция 15.0%, цинка 13.4% и магния 9%.

При приближении уровня ГВ к поверхности почвы (до 20 см) мощность КК и запасы влаги в ней уменьшаются, а интенсивность расхода воды – увеличивается. Максимальная интенсивность расхода грунтовых вод наблюдается в процессе заполнения порового пространства (компенсации недостатка водонасыщения) при поднятии уровня ГВ, т.е. при установке ГВ на новом, более высоком уровне.

Испарение влаги с поверхности почвы при близком стоянии к поверхности ее грунтовых вод приводит к разрыву капиллярных влагопроводящих путей. Это явление происходит из-за несоответствия интенсивности потока влаги из грунтовых вод к испаряющей поверхности и интенсивности ее испарения с поверхности.

Максимальная потеря ионов кальция в вариантах с запаханной биомассой древесной растительности отмечена под пашней (98.2 кг/га), затем следуют варианты с запаханной осинкой (85.8), березой (85.5), вейником (78.0), ивой (60.4), дерниной луга (39.2) и, наконец, контроль (7.3 кг/га).

С увеличением мощности монолита почвы объем инфильтрации влаги и вынос нитратов уменьшаются под злаковым и бо-

бобо-злаковым видами травостоя. Объем инфильтрации под злаковым травостоем больше чем под бобово-злаковым травостоем, а потери азота из слоев почвы 0–35 и 0–130 см под злаковым травостоем меньше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 436 с.
2. *Методические рекомендации* по проведению лизиметрических исследований водного, солевого и пищевого режимов почв на многолетних травах. М., 1979, 36 с.
3. *Муромцев Н.А.* Мелиоративная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 272 с.
4. *Муромцев Н.А.* Формирование и состояние влаги в капиллярной кайме дерново-подзолистой почвы при восходящем потоке грунтовых вод // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2005. Вып. 57. С. 50–56.
5. *Муромцев Н.А., Семенов Н.А.* Потери и возврат химических веществ в почвах при инфильтрации и подпитывании грунтовыми водами// Почвоведение. 2005. № 2. С. 457–463.
6. *Муромцев Н.А., Коваленко П.И., Семенов Н.А., Мажайский Ю.А., Яцык Н.В., Шуравилин А.В., Воронай Г.В., Анисимов К.Б., Коломиец С.С.* Внутрипочвенный влагообмен, водопотребление и водообеспеченность многолетних культурных травостоев. Рязань, 2013. 300 с.
7. *Панов Г.А.* Водный режим чернозема и мелиогенных почв. Челябинск: Изд-во ЧелГУ, 2011. 157 с.
8. *Пыленок П.И., Сидоров И.В.* Природоохранные мелиоративные режимы и технологии. М., 2004. 323 с.
9. *Роде А.А.* Избр. тр. Т. 4. М., 2009. 597 с.
10. *Семенов Н.А., Муромцев Н.А., Абрамчик А.А.* Инфильтрационный сток и потери азота на сеяных травостоях в зависимости от условий их формирования // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева 2002. Вып. 56. С. 39–43.
11. *Семенов Н.А., Муромцев Н.А., Сабитов Г.А., Коротков Б.И.* Лизиметрические исследования в луговодстве. М., 2005. 498 с.
12. *Семенов Н.А., Муромцев Н.А.* Влияние запаханной дернины на продуктивность трав и инфильтрационные потери химических элементов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2006. Вып. 58. С.39–44.
13. *Шишов Л.Л., Муромцев Н.А., Большаков В.А., Орлова Л.П.* Исследование режима влаги и химических веществ в агроландшафтах южной тайги. М.: Изд-во РАСХН, 2001. 229 с.

14. Шуравилин А.В., Панов Г.А., Муромцев Н.А.. Вводно-солевой баланс ирригационно-гидроморфных почв Южного Урала в зависимости от уровня грунтовых вод и водообеспеченности осадками // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2011. № 3. С. 57–62.
15. Meissner R., Rupp H., Seeger J., Ollesch G., Gee G.W. A comparison of Water flux measurements: passive Wick-samplers versus drainage lysimeters // European J. Soil Science. 2010. Vol. 61. P. 609–621.
16. Weihermüller L., Siemens J., Deurer M., Knoblauch S., Rupp H., Göttelein A., Pütz T. In situ soil Water extraction: a review // J. of Environmental Quality. 2007. Vol. 36. P. 1735–1748.

REGULARITIES IN ACCUMULATION, LOSS AND RETURN OF WATER AND CHEMICAL SUBSTANCES DURING THE WATER EXCHANGE IN SOIL

**N. A. Muromtsev¹, N. A. Semenov², Yu. A. Mozhaisky³,
K. B. Anisimov¹**

¹*V. V. Dokuchaev Soil Science Institute of Russian Academy of Agricultural Sciences, 119017, Moscow, Pyzhevskii, 7*

²*Russian Fodder Institute named after R.V. Williams, 141055, Lobnya in the Moscow region*

³*ООО “Meshcherskii nauchno-tekhnicheskii tsentr”, Ryazan', ul. Tipanova, 7*

The experimental studies permitted to determine the ratio between infiltration and transpiration of the ground water in a soddy podzolic soil, that accounts for 0.3-0.6 under dried conditions of atmospheric moistening, 2.6-2.9 as an average value for many years and 2.6-2.9 under moderately wet conditions. The loss of potassium, calcium, magnesium, zinc and manganese under the grass stand was calculated as 0.95, 89.0, 37.7, 1.42 and 1.40 kg/ha/yr respectively. Due to capillarity the root layer of this soil receives 0.19 kg/ha of potassium or 20% from its loss with water infiltration, 16.4% of magnesium, 15.0% of calcium, 13.4% of zinc and 9.0% of manganese. It is shown that the water transpiration in case of the close underground water level leads to rupture of capillary links. With increasing the soil thickness in lysimeter the water infiltration and the nitrate leaching become declined both under grass and bean-grass stands.

Keywords: water exchange in soil, ground water, capillary fringe, lysimeter, chemical elements, infiltration, transpiration, water flow.