

УДК 631.432:631.445.2

ВОДНЫЙ РЕЖИМ И БАЛАНС ПОЧВОГРУНТОВ И ГРУНТОВЫХ ВОД НА ОПЫТНЫХ ПОЛЯХ УЧХОЗА «МИХАЙЛОВСКОЕ»

И. С. КАУРИЧЕВ, А. Г. ЗАМАРАЕВ, Л. М. ЯКУШИН

(Кафедра почвоведения)

В настоящее время в Нечерноземной зоне РСФСР для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур осуществляется широкая программа работ по осушению, орошению земель и химизации сельского хозяйства. Выбор системы мелиорации во многом определяется водным режимом и водным балансом сельскохозяйственных полей. Поэтому накопление сведений по данной проблеме приобретает большое практическое и теоретическое значение. Настоящая работа проводилась в 1970—1975 гг. в целях изучения водного режима и водного баланса почвогрунтов и грунтовых вод на опытных полях экспериментальной базы «Михайловское» Подольского района Московской области.

Условия и методика проведения исследования

Балансовые площадки были оборудованы в вариантах с расчетными дозами удобрений на планируемый урожай [11] и на неудобряемом фоне, размеры площадок соответственно 142×26 и 42×9 м. Они располагаются на пологом склоне с уклоном поверхности 0,008—0,014. На балансовых площадках размещены стоковые площадки, на которых определяли величины поверхностного и почвенного (горизонтального, в слоях 0—20 и 20—100 см) стоков, а также система режимных скважин на верховодку, грунтовые и напорные воды. Количество воды на стоковых площадках учитывали объемным методом и с помощью водосчетчиков.

Режим влажности почвы до глубины 1 м в 1970—1973 гг. и до 2 м в 1974—1975 гг. изучали термостатно-весовым методом в 4-кратной повторности, образцы для определения влажности почвы отбирали ежемесячно в период вегетации растений, а также перед установлением устойчивого снежного покрова и снеготаянием. Наблюдения за уровнями подземных вод проводили через 3—6 дней круглогодично. Для характеристики погодных условий в исследуемый период использовали данные метеорологического опорного пункта ИЭМ, расположенного непосредственно на территории опытных полей, средние многолетние данные получали с метеорологических станций, находящихся в Собакино и Наро-Фоминске.

Водно-физические свойства почвы исследовали на глубину 1,5—2 м по 10-сантиметровым слоям, а ниже — по литологическим разностям в образцах пород, отобранных при бурении режимных скважин (связные

грунты с ненарушенной структурой, пески с нарушенной). Наименьшую влагоемкость (НВ) определяли методом залива площадок, влажность завядания (ВЗ) — методом вегетационных миниатюр, максимальную гигроскопичность (МГ) — по Николаеву, плотность — ликнометрическим методом, объемную массу скелета — с помощью прибора Васильева, полную влагоемкость (ПВ) и влажность разрыва капиллярной связи (ВРК) — расчетным путем. Коэффициент фильтрации в почвенном профиле определяли с помощью прибора ПВН-00 в полевых условиях, а в интервале глубин 2—18 м — лабораторным путем на образцах грунтов, отобранных при бурении режимных скважин.

Почвенный покров балансовых площадок представлен дерново-слабоподзолистыми среднесуглинистыми почвами до глубины 2 м, ниже залегают флювиогляциальные суглинки от легких до тяжелых с линзами песков и супесей. Эти отложения на глубине 5—9 м подстилаются моренными суглинками мощностью 5—7 м, ниже располагаются флювиогляциальные пылеватые пески мощностью 2—4 м, сменяющиеся суглинками того же генезиса. Толща четвертичных отложений залегает на известняках карбона. В надморенных флювиогляциальных отложениях распространены грунтовые воды, а в песках под мореной — напорные воды. Уровень грунтовых вод обычно находился на глубине свыше 3 м. В осеннее и весеннее время в почвенном профиле часто формировалась верховодка, которая существовала от нескольких дней до месяца и больше.

Водно-физические свойства почвенного

профиля отличались небольшим варьированием по площади.

Коэффициент фильтрации изменялся в значительных пределах по площади и особенно по глубине. В различных горизонтах среднесуглинистой почвы средние значения коэффициента фильтрации составляли (м/сут): $A_{\text{п}}$ — 0,8; A_2B — 0,4; B_1 — 0,55; B_2 —

0,30; BC — 0,04, а в залегающих ниже флювиогляциальных средних и тяжелых суглинках — 0,029, легких суглинках — 0,056, в пылеватых песках — 0,23.

Во все годы исследования (1970—1975), за исключением 1973 г., количество годовых осадков было ниже средней многолетней нормы.

Режим влажности почвы

В определенную часть года влажность в почвенном профиле была не ниже НВ, но с мая — июня по август — декабрь в профиле существовала зона, отличающаяся более низкой влажностью, максимальная глубина ее распространения достигала (по годам) 1—1,5 м. Как правило, к середине или к концу мая вся избыточная влага сбрасывалась за пределы метрового слоя почвы и сверху начинала формироваться зона, влажность которой была ниже НВ. Наибольшая глубина распространения этой зоны и наименьшие величины влажности почвы в ней чаще всего отмечались в августе. Так, в наиболее засушливое лето 1972 г. влажность почвы к 10 августа снизилась до ВЗ лишь в пахотном горизонте (20 см), зона, влажность которой не превышала ВРК, распространилась до 60—70-сантиметрового слоя, а на глубине 1 м влажность составляла 27% от объема почвы, или была на 7% ниже НВ. Глубина распространения зоны иссушения в 1972 г. достигала 1,5 м. Дефицит запасов влаги в метровой толще относительно их уровня при влажности, равной НВ (330 мм), составлял 146 мм (в 1973 г. он не превышал 51 мм). Иссушению почвы опытного поля в 1972 г. способствовала также мощная корневая система клевера 2-го года пользования при большой напряженности метеорологических факторов — в июне — августе при средней месячной температуре воздуха, превышающей норму на 3,3—4,2°, выпало осадков на 91 мм меньше нормы, или 57%. Даже при таких условиях в метровой толще почвы содержалось 57 мм продуктивной влаги, но ее вряд ли можно считать доступной для растений, поскольку она находилась в подпахотных горизонтах, куда проникает менее половины всей массы корней. Такой насыщенности этих горизонтов почвы корнями, по-видимому, недостаточно для иссушения ее до ВЗ, даже в сильнозасушливых условиях.

В остальные годы иссушение почвы до ВЗ наблюдалось в слое не глубже 10 см, до ВРК — 20—50 см, а в слое 90—100 см влажность была

Т а б л и ц а 1

Водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы
(средние значения показателей)

Интервал, глубин, см	Плотность	Объемная масса скелета, г/см ³	ПВ	НВ	ВРК	ВЗ	МГ
0—10	2,64	1,37	47,0	34,3	23,0	7,8	5,3
10—20	2,64	1,47	44,4	32,0	21,3	7,1	5,7
20—30	2,68	1,46	45,6	30,8	20,2	6,5	4,7
30—40	2,69	1,51	44,0	31,8	21,2	8,9	9,6
40—50	2,71	1,51	44,3	31,8	21,2	11,1	10,7
50—60	2,72	1,55	43,0	32,7	22,0	12,2	11,0
60—70	2,71	1,58	41,7	33,8	22,6	12,8	11,5
70—80	2,73	1,59	41,8	34,0	22,8	15,9	12,1
80—90	2,73	1,60	41,4	34,6	23,2	16,7	12,0
90—100	2,74	1,58	42,5	34,0	22,7	16,6	12,6
100—110	2,75	1,56	43,3	34,3	23,0	—	13,3
110—120	2,74	1,56	43,0	34,4	23,0	—	13,4
120—130	2,72	1,56	42,6	33,6	22,4	—	13,1
130—140	2,72	1,58	42,0	33,0	22,0	—	13,1
140—150	2,72	1,62	40,5	33,7	22,5	—	13,3

равна НВ или ниже ее только на 1—3% от объема почвы. Обычно с сентября, а в 1973 г. уже в июне дефицит влаги в зоне иссушения начинал уменьшаться и к октябрю — декабрю, а в 1973 г. к августу во всем почвенном профиле влажность достигала уровня НВ или была выше его, что вызывало сброс избыточной влаги в грунтовые воды. Зимой вследствие промерзания почвы происходило перераспределение влаги, приводящее к образованию на глубине от 30—40 до 50—90 см слоя, влажность которого была на 1—4% ниже НВ, кроме того, возростала влажность в верхней части почвенного профиля. В результате отмеченных факторов и зимних оттепелей почва с поверхности и до глубины 15—30 см в 1971, 1972 и 1974 гг. была полностью водонасыщена (льдонасыщена) и отмечалось морозное пучение почвы, что влияло на характер весеннего поверхностного стока воды и перезимовку озимых и многолетних трав.

Режим и баланс подземных вод

Подъем уровней грунтовых и напорных вод, а также верховодки, связанный с инфильтрацией атмосферных осадков, наблюдался в осенний (во все годы) и в весенний (кроме 1972 г.) периоды, а также зимой 1971 г. и летом 1973 и 1974 гг. Процесс инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды в осенний период происходит в два этапа: сначала восполняется дефицит влаги в почвенном профиле до НВ, затем накапливается избыточная влага (нередко вплоть до формирования верховодки), которая сбрасывается в грунтовые воды. Продолжительность появления верховодки в осенний и весенний периоды — от нескольких дней до нескольких месяцев, но обычно — менее месяца.

В 1973 г. подъем уровня грунтовых вод начался в августе, а в отдельных скважинах даже в июле и продолжался с небольшими перерывами до середины ноября. Наиболее поздний срок начала его подъема — конец ноября (1972 г.). За 5-летний период исследований осенний подъем уровней грунтовых и напорных вод обычно превышал весенний, исключение составлял только высокий весенний подъем уровней в 1975 г. (в грунтовых водах — 253—428 см, в напорных — 185—200 см), начавшийся со снеготаяния весной. В остальные же годы весенний подъем грунтовых вод наступал после окончания поверхностного стока воды (в 1972 г. он не наблюдался). Минимальный осенний подъем уровней отмечен в 1972 г. (в грунтовых водах — 48—142 см, в напорных — 47—70 см), а максимальный в 1973 г. (в грунтовых — 385—429 см, в напорных — 248—277 см). В период наиболее высокого стояния уровней грунтовых и напорных вод (апрель 1975 г.) они залегали на глубине 15—265 и 450—490 см. Многолетняя амплитуда колебания уровней грунтовых и напорных вод от максимума до минимума была очень большой — соответственно 5,8—7,26 и 3,83—4,26 м. Такие колебания грунтовых вод объясняются двумя причинами: 1) период исследований захватил как время многолетнего спада — до осени 1970 г., так и период многолетнего подъема; 2) величина водоотдачи водовмещающих суглинков была небольшой (2,7% от объема грунта, или в 4—10 раз меньше, чем для песков).

На балансовых площадках уровни грунтовых вод залегали на более высоких абсолютных отметках, чем напорные воды (на 0,5—4 м), что обеспечивало возможность перетекания грунтовых вод в напорные, и только в дне лощины, удаленной от балансовых площадок не менее чем на 170 м, отмечалась обратная связь. В четвертичных отложениях величина потока грунтовых и напорных вод, разгружающихся на дне лощины, сравнительно небольшая из-за низких фильтрационных свойств этих отложений. Расчеты, проведенные по формуле Дарси, показали, что этот поток (горизонтальный) обеспечивает вынос атмосферных осадков, достигающих уровня грунтовых вод в течение года на примыкающей к лощине полосе шириной не более 90 м. За пределами указанной полосы, в

том числе на балансовых площадках, во всей толще четвертичных отложений существовал нисходящий поток воды, направленный в лежащие ниже известняки карбона.

Для условий вертикального потока воды на основании данных об уровнях грунтовых и напорных вод по кустам скважин рассчитаны годовые балансы грунтовых вод по предложенной нами методике [12]. К составляющим баланса грунтовых вод относятся: местный подземный сток воды (U), представленный на балансовых площадках нисходящим током воды; изменение запасов грунтовых вод в конце расчетного периода (ΔU); инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды ($W\Delta t$). При неглубоком залегании грунтовые воды могут расходоваться также на испарение и транспирацию. А. С. Субботин [10], обобщая данные многочисленных лизиметрических исследований, указывает, что если грун-

Т а б л и ц а 2

Изменение роли различных составляющих водного баланса лизиметров (ГР-80) в зависимости от глубины залегания уровня воды (1974 г.)

Месяц	Температура воздуха, °С	Количество атмосферных осадков, мм	Инфильтрация атмосферных осадков до уровня воды в лизиметрах, мм				Испарение с уровня воды в лизиметрах, мм			
			Л-1	Л-1,5	Л-2	Л-2,5	Л-1	Л-1,5	Л-2	Л-2,5
V	8,9	95,9	42,0	46,7	32,4	43,0	0	0	0	0
VI	15,4	49,9	7,0	3,7	1,8	5,6	75,5	2,6	0	0
VII	17,3	97,9	15,0	5,4	3,6	4,0	90,1	9,1	2,0	0
VIII	14,9	33,9	3,7	1,6	7,0	2,7	51,1	17,7	0	0
IX	12,3	13,8	0	0	0	0	35,4	8,1	2,0	0
X	7,5	70,2	47,4	2,7	1,8	1,4	15,7	5,0	0	0
V—X		361,6	119,1	60,1	46,6	56,7	267,8	42,5	4,0	0

П р и м е ч а н и е. Л-1, Л-1,5, Л-2, Л-2,5 — лизиметры, в которых глубина залегания уровня воды составила соответственно 1; 1,5; 2,0 и 2,5 м. Ячмень в лизиметрах был посеян в мае.

товые воды залегают ниже 2,5—3 м по профилю, их участие в увлажнении зоны аэрации и водообеспечении растений сводится к минимуму. Проведенные нами лизиметрические наблюдения (табл. 2) показали, что уже при глубине залегания грунтовых вод 2 м поток воды к поверхности земли был близок нулю.

Так как в период исследований грунтовые воды на балансовых площадках залегали на глубине, превышающей 2—3 м, они не могли расходоваться на испарение.

Инфильтрация атмосферных осадков в грунтовые воды происходила в основном в осенний и весенний периоды, а ее интенсивность (W) находилась в пределах 1—4 мм слоя воды в сутки. Величина же местного подземного стока воды изменялась от 0,12 до 0,5 мм в сутки. Максимальная инфильтрация атмосферных осадков в грунтовые воды за осенний период отмечена в 1973 г. (111—112 мм), а за весенний период — в 1975 г. (89—98 мм), ее годовые значения находились в пределах 65—165 мм, или в среднем составляли 112 мм/год. Величина местного подземного стока изменялась от 59 до 135 мм в год, средние его значения равнялись 91 мм в год. Превышение величины инфильтрации атмосферных осадков над подземным стоком за 5-летний период составило 105 мм. В результате пополнения запасов грунтовых вод их уровень поднялся более чем на 3 м. Это связано с тем, что исследования захватили в основном период многолетнего подъема уровня грунтовых вод.

Поверхностный сток

Поверхностный сток на стоковых площадках отмечался в весенний, летний и зимний периоды. Небольшой летний сток (3 мм слоя воды) был лишь в 1971 г. после ливневых осадков (35 мм), причем только на площадке длиной 142 м. Зимний сток во время оттепелей в 1971 и 1974 гг. составлял 3—11 мм. Подавляющая и часто единственная часть годового поверхностного стока воды приходилась на весенний период. Его продолжительность изменялась от 8 до 23 сут, максимальная интенсивность стока в пересчете на гектар достигала 680 л/мин, а максимальная величина его за сутки — 245 м³/га. Для весеннего стока в 1973 и 1975 гг. характерно просачивание в почву значительной части атмосферных осадков (вода снежного покрова). Поверхностный сток в эти годы составлял соответственно 61—75 и 14—39% от запасов воды в снеге, в то время как в 1971, 1972 и 1974 гг. отмечался 100%-ный их вынос с поверхностным стоком. В последнем случае верхний слой почвы до глубины 15—30 см был льдонасыщен до полной влагоемкости, а к концу стока он оттаивал лишь на 5—15 см и поэтому являлся водонепроницаемым экраном для талых вод. К началу поверхностного стока весной 1973 г. льдонасыщенный слой отсутствовал, и хотя почва была проморожена на глубину свыше 1 м, она оставалась водопроницаемой. В 1975 г. довольно мощный снежный покров (с запасом воды 96—120 мм) и повышенная температура воздуха в зимний период обусловили малую, а участками и полную непромороженность почвы, что определило большую весеннюю инфильтрацию талых вод в почву и далее в грунтовые воды. Данные о потерях талых вод на инфильтрацию в одни годы и отсутствие их в другие находятся в соответствии с результатами режимных наблюдений за уровнями грунтовых вод и балансовых расчетов, проведенных на их основе.

Величина поверхностного стока воды изменялась от 104—110 мм в 1974 г. (за весенний период и зимнюю оттепель) до 15—51 мм в 1975 г. Значительные различия в величинах поверхностного стока воды по площадкам в 1975 г., по всей видимости, связаны с их размерами. Большая протяженность площадки I определила возможность формирования сосредоточенных временных водотоков, при быстром движении в них воды последняя не успевала просочиться в почву. О влиянии длины стоковой площадки на величину поверхностного стока указывается в работе В. Д. Иванова [4]. Величина поверхностного стока за 5 лет наблюдений составила 11—13% от количества осадков, выпавших за этот период.

Почвенный сток

Величину почвенного стока (горизонтального или бокового) определяли путем его перехвата с помощью дренажных труб, установленных в нижней части стоковой площадки (по склону) на глубинах 0,2 и 1,0 м. Возможность формирования почвенного стока связана с образованием в почвенном профиле вод типа верховодки, которая появлялась весной и осенью в период инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды. Образование верховодки, по-видимому, связано с тем, что в нижней части почвенного профиля в горизонтах В₂ и ВС коэффициент фильтрации почвы более чем на порядок ниже, чем в лежащих выше горизонтах. Поэтому над ними, как над относительным водоупором, некоторое время была верховодка.

Почвенный сток наблюдался только в весенний период, когда почва оттаивала на значительную глубину (нередко после схода снежного покрова). Он оказался небольшим даже весной 1975 г., когда почва была мало проморожена и большая часть запасов воды в снеге просочилась в почву. Но даже в этом году величина почвенного стока со стоковой площадки I (размером 142×26 м) не превысила 8,6 м³ воды, или 2,3 мм. Но,

как отмечает А. И. Будаговский [1], при расчете почвенного стока в миллиметрах слоя воды необходимо использовать не длину стоковой площадки, а среднюю длину всего склона — от водораздела до места дренирования этого вида стока (овраги, реки и т. д.). На изучаемой территории общая длина склона составляет не менее 500 м, что в 3 раза больше длины стоковой площадки. Произведя соответствующие пересчеты, мы получили величину почвенного стока, не превышающую 1 мм.

В некоторых работах роли почвенного стока в общем водном балансе территорий придается неоправданно большое значение. Этому вопросу была посвящена специальная дискуссия, результаты которой опубликованы в работе [8]. В указанной работе отмечается, что методы измерения внутрипочвенного стока, применявшиеся до сего времени, являются несовершенными, поэтому полученные количественные данные следует считать недостоверными. Большое значение внутрипочвенного стока в питании рек и водном балансе речных бассейнов не доказано и теоретически не обосновано.

Наши экспериментальные исследования подтвердили очень малую роль почвенного стока (горизонтального) в водном балансе территории. Видимо, в балансовых расчетах им можно пренебречь.

Общий водный баланс почвогрунтов и грунтовых вод

Для расчета годовых водных балансов на воднобалансовых площадках за основу принято приводимое в методических указаниях уравнение водного баланса речных бассейнов [5]:

$$O = S + U + E + \Delta W + \Delta U, \quad (1)$$

где O — атмосферные осадки; S — поверхностный сток; U — местный подземный сток; E — суммарное испарение; ΔW — изменение запасов влаги в верхнем метровом слое почвогрунтов, определяемое по выражению $\Delta W = W_k - W_n$; W_k и W_n — запасы влаги соответственно на конец и начало гидрологического года; ΔU — изменение запасов грунтовых вод.

Все элементы приведенного уравнения мы определяли экспериментально, кроме испарения, величину которого получали путем решения уравнения водного баланса. Выше были рассмотрены водные режимы почвогрунтов и грунтовых вод, а также водный баланс последних, которые являются исходным материалом для составления общего водного баланса исследуемой территории.

На результаты расчета водного баланса существенное влияние оказывает выбор начала гидрологического года [3]. Для большинства водосборов СССР [6] за начало гидрологического года принято 1 октября, а в методических указаниях [5] без какой-либо аргументации — 1 декабря.

Необходимо отметить, что начало гидрологического года (1 октября) может приходиться как на минимум, так и на максимум влагозапасов [3], следовательно, один год от другого будет сильно отличаться уровнем влагозапасов и величиной ΔW .

При балансовых исследованиях определение уровня влагозапасов всего водосбора и в пределах небольших площадок в условиях глубокого залегания грунтовых вод сопряжено с большими трудностями. Поэтому режим влагозапасов исследуется обычно только на глубину 1 м [5]. Наибольшая ошибка в определении влагозапасов при этом наблюдается в том случае, если начало гидрологического года приходится на период инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды. Наименьшая величина ΔW , а следовательно, и наименьшая ошибка при ее определении будет отвечать уровню влагозапасов зоны аэрации, близкому к запасам влаги при влажности почвогрунтов, равной НВ, т. е. приближающейся к равновесной. На основе наших наблюдений за режимом влажности почвы можно констатировать, что этому условию в наибольшей степени

отвечает конец мая — начало июня, т. е. начало гидрологического года — 1 июня. К этому времени в рассматриваемом районе, как правило, заканчивается пополнение запасов грунтовых вод за счет сброса избыточной влаги из зоны аэрации и в ней начинает формироваться зона иссушения, поэтому изучение влагозапасов можно ограничить глубиной 1,0 м. Запасы влаги в зоне аэрации в этот период близки к их средней величине, а не к максимальному или минимальному значению, к которым рекомендуют в настоящее время приурочивать начало гидрологического года, хотя это не соответствует условию получения величины $\Delta W \rightarrow \min$.

Начало гидрологического года — 1 июня, принятое нами для расчета годовых водных балансов, отвечает этому условию, о чем можно судить по данным табл. 3. Отклонение средних запасов воды в метровой толще почвы на 1 июня составляет 16 мм относительно его уровня при влажности почвы, равной НВ (330 мм). Значительно большие запасы воды в конце мая 1974 г., чем в остальные годы, нехарактерны.

Колебание годовых величин суммарного испарения было небольшим — от 316—319 мм в 1971/72 гидрологическом году до 371—386 мм в 1974/75, а в среднем за 5 лет наблюдений оно составило 354 мм в год по обеим площадкам (табл. 3). Точность рассчитанных величин испарения зависит от точности определения других составляющих водного баланса. Величины ошибок для поверхностного и местного подземного стока в нашем опыте могут быть оценены соответственно 5 и 20%, что даст суммарную величину ошибки около 25 мм, или 2% среднегодового количества атмосферных осадков. Существующие методы определения величин атмосферных осадков, используемые на метеорологических станциях, дают заниженные данные об истинном количестве выпадающих осадков. В справочнике по климату СССР [9] приводятся суммы осадков, уточненные путем введения поправок на влияние ветра и испарение из осадкомера. По сведениям ближайших метеорологических

Т а б л и ц а 3

Водный баланс почвогрунтов и грунтовых вод (мм) на площадке 1
(расчетный фон удобрений — числитель) и площадке 2
(без удобрений — знаменатель)

Гидрологический год	Осадки <i>O</i>	Поверхностный сток <i>S</i>	Подземный сток <i>U</i>	Изменение запасов		Испарение <i>E</i>	Запасы в 1-м слое почвы <i>W</i> _н
				влаги ΔW	грунтовых вод ΔU		
1970/71	501	64	59	-29	+29	378	330
		73	72	-11	+1	366	312
1971/72	502	109	73	-12	+13	319	301
		76	102	0	+8	316	301
1972/73	472	58	66	+13	-1	336	289
		43	65	+1	+20	343	301
1973/74	686	104	94	+53	+69	366	302
		110	120	+43	+45	358	302
1974/75	507	51	125	-54	+14	371	355
		15	135	-41	+12	386	345
Средние данные за 5 лет	534	77	83	-6	+25	354	315
		64	99	-2	+17	354	312
Средние данные для поля в целом	660*	71	91	-4	+21	481	314

* Уточненная величина среднегодового количества осадков.

Урожай сельскохозяйственных культур на балансовых площадках
(в ц сухого вещества на 1 га)

Культура	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.
	ячмень	клевер 1-го года	клевер 2-го года	овес	вико-овес
Площадка 1 (расчетные дозы удобрений)					
Зерно	39,0			18,0	
Солома, сено	47,3	43,7	43,3	15,6	29,4
Площадка 2 (без удобрений)					
Зерно	32,2			3,6	
Солома, сено	21,1	11,3	22,6	9,2	12,8

станций, расположенных в Собакино и Наро-Фоминске, указанные поправки составляют в среднем 24% среднегодовой суммы атмосферных осадков. С учетом этой поправки среднегодовое количество осадков за 5-летний период исследований составило 660 мм, а суммарное испарение — 481 мм (табл. 3).

Для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур при достаточной обеспеченности элементами минерального питания необходим оптимальный водный режим почвы, показателем которого (нижним пределом) может служить равенство фактического суммарного испарения и потенциально возможного испарения в данных метеорологических условиях — испаряемости E_0 [7]. Отношение фактического испарения к испаряемости называют гидрометеорологическим показателем засухи (ГПЗ), который является комплексным критерием влагообеспеченности растений [7]. Таким образом, величина разности $E_0 - E$ за определенный отрезок времени может служить количественной характеристикой дефицита влагообеспеченности растений (D_p) для реализации их максимальной продуктивности, т. е.

$$D_p = E_0 - E. \quad (2)$$

М. И. Будыко [2] предложил для определения годовых величин испаряемости следующую формулу:

$$E_0 = \frac{R}{L}, \quad (3)$$

где R — годовая величина радиационного баланса; L — скрытая теплота парообразования, которая принята равной 0,6 ккал/г.

По данным ближайшей метеостанции, находящейся в Собакино, среднегодовой радиационный баланс составляет 35,6 ккал на 1 см² в год [9], а среднегодовая испаряемость, рассчитанная по формуле (3), — 593 мм, что на 112 мм больше среднегодового суммарного испарения за 5-летний период исследования. Превышение испаряемости над фактическим испарением приходится на вегетационный период (в основном июнь — август) и, следовательно, годовая разность $E_0 - E = D_p$ может рассматриваться как величина дефицита влагообеспеченности растений, характеризующихся длительным периодом вегетации, например многолетних трав. Для исследуемого района она в среднем составляет около 100 мм, или 1000 м³/га. Поэтому здесь для получения высоких и устойчивых урожаев необходимо орошение. Урожай сельскохозяйственных культур на неорошаемых балансовых площадках (табл. 4) был относительно невысоким, что связано с метеорологическими особенностями периода балансовых исследований — в течение четырех лет из пяти в вегетационный период осадков выпадало меньше нормы. Только в 1973 г. их количество превысило норму, но из-за полегания ов-

са, которым были засеяны балансовые площадки, урожай был низким, в то время как урожай многолетних трав на соседних полях в этом году оказался максимальным за ротацию.

Приведенный выше метод расчета дефицита влагообеспеченности растений не позволяет получить величину среднегодовой нормы орошения для реализации максимальной продуктивности растений в исследуемом районе, поскольку для этого необходим еще и учет тех изменений в режиме и балансе почвы, которые произойдут в условиях орошения. При отсутствии орошения в почвенном профиле формируется зона иссушения, запасы влаги в которой были ниже их уровня при влажности, равной НВ. На исследуемой площади с дерново-подзолистой средне-суглинистой почвой эта зона распространялась в основном до глубины 1 м, а дефицит запасов влаги в ней D'_n составлял 51—146 мм, в среднем за 5 лет — 100 мм. В условиях орошения в почве полностью или частично ликвидируется зона иссушения, поэтому к осеннему периоду, когда наступает положительный водный баланс почвы, дефицит запасов влаги в ней D''_n будет значительно меньше, чем на неорошаемом поле при прочих равных условиях, т. е. $D''_n < D'_n$. Величина разности $D'_n - D''_n = \Delta D_n$ характеризует изменение водного режима и баланса почвы при орошении.

В результате преобразования водного баланса уменьшится доля суммарного испарения, связанная с расходом влагозапасов почвы, на величину ΔD_n . Учитывая это, можно рассчитать среднегодовую норму орошения для получения максимальной продуктивности многолетних трав или набора других культур при такой же продолжительности вегетационного периода.

$$M = E_0 - E + \Delta D_n. \quad (4)$$

Для расчета нормы орошения по формуле (4) необходимо накопление экспериментальных данных о водном балансе на орошаемых и неорошаемых площадях. Для исследуемой территории она может приблизительно равняться 150 мм в год.

Вследствие преобразования водного баланса на орошаемых площадях с промывным типом водного режима почвы повышается инфильтрация влаги в грунтовые воды на величину ΔD_n , причем это относится к случаю оптимально выбранных норм полива, когда зона иссушения полностью не ликвидируется. При других условиях увеличение инфильтрации в грунтовые воды будет более значительным.

Выводы

1. Воднобалансовые исследования, проводимые в 1970—1975 гг., показали, что в течение значительной части года влажность в почвенном профиле была не меньше НВ, но с мая — июня по август — декабрь в нем имелась зона, влажность которой была ниже. Максимальная глубина распространения этой зоны по годам изменялась от 1 до 1,5 м, а запасы влаги в метровой толще почвы были ниже на 51—146 мм, чем при влажности, равной НВ.

2. Водные балансы на неорошаемых удобренных и неудобренных полях мало различались. При среднегодовом количестве осадков 660 мм (с поправкой к показаниям осадкомера) с поверхностным стоком в среднем выносилось 71 мм слоя воды, с подземным — 91 мм, испарение составило 481 мм.

3. При проведении воднобалансовых исследований на суглинистых почвах почвенным стоком воды (горизонтальным) можно пренебречь, так как он близок нулю.

4. Достижение максимальной продуктивности растений при достаточной обеспеченности элементами минерального питания, как правило,

лимитировалось недостатком влаги. Среднегодовая норма орошения для многолетних трав на исследуемой территории может приблизительно равняться 150 мм в год. В результате орошения произойдет значительное преобразование водного режима, а также водного баланса почвы и грунтовых вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будаговский А. И. Исследование формирования водного баланса почвы. В сб.: Тепловой и водный режим земной поверхности. Л., Гидрометеоздат, 1960, с. 76—81. — 2. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Л., Гидрометеоздат, 1956. — 3. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов. Л., Гидрометеоздат, 1971. — 4. Иванов В. Д. Состояние и пути совершенствования размеров и форм стоковых площадок. Науч.-техн. бюл. по проблеме защиты почв от эрозии. ВНИИ ЗПЭ, Курск, 1974, с. 60—64. — 5. Методические указания управления гидрометеослужбы № 73. Расчет водного баланса речных бассейнов. Валдай, 1966. — 6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. III. Л., Гидрометеоздат, 1958. — 7. Нерпин С. В., Мичурин Б. Н., Санонян М. Г. Зависимость водопотребления растений от физических факторов среды. В сб.: Исследование процессов обмена энергией и веществом в системе почва — растение — воздух. Л., «Наука», 1972, с. 5—10. — 8. О «внутрипочвенном стоке» и его роли в гидрологическом режиме рек и почв. Л., 1955. — 9. Справочник по климату СССР. Вып. 8, ч. I, II, IV. Л., Гидрометеоздат, 1967. — 10. Субботин А. С. Особенности применения лизиметрического метода для измерения элементов водного баланса. В сб.: Применение лизиметрических методов в почвоведении, агрохимии и ландшафтоведении. Л., Геогр. об-во СССР, 1972, с. 47—55. — 11. Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В., Баринов А. И. Водопотребление озимой пшеницы при разном уровне минерального питания. «Изв. ТСХА», 1971, вып. 4, с. 34—42. — 12. Якушин Л. М., Замараев А. Г. Методы расчета баланса грунтовых вод при условии двухмерного их движения. «Изв. ТСХА», 1978, вып. 2, с. 91—98.

Статья поступила 14 июня 1978 г.

SUMMARY

The studies of water regime and water balance of soil-grounds and ground waters conducted in 1970—1975 on the trial fields of the experimental farm "Mikhailovskoje" showed that during the most part of the year the moisture content of the soil profile was not lower than the lowest moisture capacity, but beginning from May—June and up to August—December there was a zone in the profile 1—1.5 m deep with lower moisture content.

The average annual rainfall being 660 mm, the surface runoff removes on the average 71 mm of water layer, and underflow removes 91 mm, evaporation making up 481 mm.

Under the optimum level of mineral nutrition, the lack of water limited reaching the maximum plant productivity. It may be established that the average annual rate of irrigation for perennial grasses should make 150 mm.