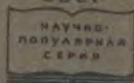


А. А. РОДЕ

АКАДЕМИЯ НАУК
СССР



ВОДНЫЙ
РЕЖИМ
ПОЧВ
И ЕГО
РЕГУЛИРОВАНИЕ

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

Научно-популярная серия

А. А. Роде

**ВОДНЫЙ
РЕЖИМ
ПОЧВ
И ЕГО
РЕГУЛИРОВАНИЕ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1963

Вода играет важную роль в обмене веществ между атмосферой, почвой и грунтом, растениями и животными. Попадая в почву, вода становится почвенной влагой и резко меняет свои свойства. Почвенная влага является основным источником воды для растений и оказывает большое влияние на урожай.

Важные сведения о почвенной влаге и о принципах регулирования ее режимов сообщает читателю автор этой книги — профессор А. А. Роде.

От автора

Вода играет огромную роль в жизни нашей планеты: без нее нет жизни. Она обладает большой подвижностью и способна передвигаться даже в твердом состоянии: очень медленно в форме льда и более быстро в виде снега, переносимого ветром. В жидком состоянии она легко передвигается под влиянием силы тяжести, в парообразном — путем диффузии и пассивно вместе с воздухом. Благодаря большой подвижности и способности переносить различные вещества в растворенном или взмученном состоянии, вода играет большую роль в обмене веществ между природными телами.

Главным источником энергии, вызывающим передвижение воды, является лучистая энергия солнца, которая, превращаясь в другие виды энергии — тепловую, кинетическую, потенциальную и прочие, принимает участие в перемещении различных веществ.

Вода на своем пути неизбежно попадает в почву — тонкий поверхностный слой земной коры, пронизанный корнями растений. Значение почвы во влагообмене между различными природными телами чрезвычайно велико: на ее поверхности и в ее толще происходят резко выраженные изменения скорости и направления передвижения воды, изменения ее свойств, состава растворенных в ней веществ и т. д.

Поэтому почвенная влага является основным источником влаги для всех сухопутных растений. Она заслуживает большого внимания и изучения, наравне с влагой атмосферы, океанов, морей, озер и рек и подземной влагой.

Перечисленные формы влаги — предмет изучения метеорологии, океанологии, лимнологии, гидрологии, гид-

рогеологии. Почвенная же влага, связывающая между собой различные виды влаги, является предметом изучения почвоведения.

В настоящей книге мы постараемся изложить основные сведения о почвенной влаге, закономерностях ее поведения и о принципах регулирования ее режима.

При чтении этой книги может возникнуть потребность в некоторых общих сведениях о почвах. Эти сведения могут быть почерпнуты из научно-популярной книги проф. Н. А. Качинского «Почва, ее свойства и жизнь», выпущенной Издательством Академии наук в 1956 году.

Введение

Основная часть воды на земном шаре сосредоточена в океанах, площадь которых составляет 71 % всей его поверхности. С поверхности океанов вода испаряется в среднем в количестве $448\,000\text{ км}^3$ в год, что соответствует слою толщиной 1240 мм.

Часть этого количества воды переносится ветрами на сушу, где выпадают в виде осадков.

Их средняя годовая сумма составляет $99\,300\text{ км}^3$, или 570 мм. Из этого количества $63\,000\text{ км}^3$, или 425 мм, испаряется, а $36\,300\text{ км}^3$, или 245 мм, поступает обратно в океан в форме речного стока.

Влага атмосферных осадков на поверхности земли подвергается многообразным преобразованиям, которые изображены схематически на рис. 1. Часть атмосферных осадков (1) задерживается растительным пологом и с его поверхности испаряется обратно в атмосферу (2). Часть влаги (3), достигнув поверхности почвы, стекает по ее уклону. Некоторое количество влаги (4) испаряется с поверхности почвы обратно в атмосферу. Остальная влага просачивается (инфильтрируется) в почву (5), превращаясь в почвенную влагу. Значительная часть почвенной влаги отсасывается (десугируется) из почвы корнями растений (6) и затем, пройдя через их тела, испаряется надземными органами растений (преимущественно листьями), возвращаясь в атмосферу. Часть почвенной влаги стекает в почвенной толще в боковом направлении, образуя почвенный сток (7), и поступает затем в ручьи и реки. Некоторое количество почвенной влаги просачивается еще глубже в грунт (8) и поступает в

грунтовые воды Грунтовые воды, как правило, движутся под влиянием силы тяжести, образуя грунтовой сток (9), причем их влага в конце концов попадает в ручьи и реки, превращаясь в воды речного стока (10). Часть

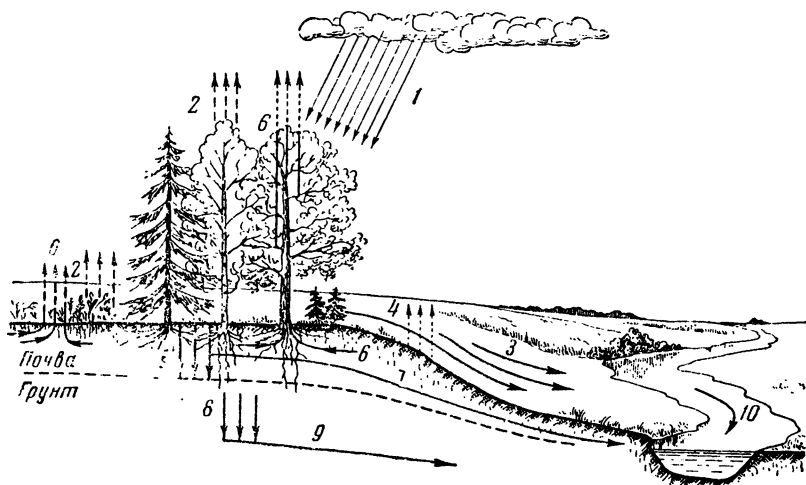


Рис. 1. Круговорот влаги в природе

1—осадки, 2—испарение с поверхности растительности, 3—поверхностный сток, 4—испарение с поверхности почвы, 5—инфильтрация в почву, 6—десукция (транспирация), 7—почвенный сток, 8—инфильтрация в грунтовые воды, 9—грунтовой сток, 10—речной сток

грунтовых вод, приблизившись к дневной поверхности, снова поступает в почву и используется растениями. Наконец, некоторая часть грунтовой влаги может просочиться еще глубже и превратиться в глубокие подземные, артезианские, воды.

Из этой схемы мы видим, какое важное место в круговороте воды на земном шаре занимает почва и произрастающая на ней растительность. Именно эта тончайшая (в масштабах земного шара) оболочка, мощностью от одного до нескольких десятков метров, принимает на себя атмосферные осадки, преобразуя их либо в парообразную влагу, либо во влагу поверхностного стока, либо в воды различных видов подземного стока.

Испарение и транспирация осуществляются при помощи лучистой энергии солнца, которая также поглощается и растительностью. При этом лучистая энергия трансформируется в скрытую теплоту парообразования и с водяным паром уходит в атмосферу. Следовательно, и в теплообороте, который связан с влагооборотом, роль почвы и растительного покрова также очень велики.

Отсюда вытекает необходимость изучения водного режима почв как одного из важнейших звеньев общего водного режима суши.

Водный режим почв имеет важное значение и для познания процесса почвообразования. Основатель гидрологии почв Г. Н. Высоцкий образно сравнивал почвенную влагу с кровью живого организма. И действительно, передвижение веществ в самой почве совершается главным образом в растворенном виде вместе с почвенной влагой. Другая форма передвижения веществ тоже связана с влагой, так как минеральные вещества, поглощаемые растениями, проникают в их тела вместе с почвенным раствором.

Наконец, изучение водного режима почв имеет первостепенное значение в связи с их плодородием — почва является практически единственным источником влаги для растений.

Условимся о содержании некоторых понятий и терминов, которыми мы в дальнейшем будем пользоваться.

Важнейшее из этих понятий — водный режим почв. Под этим термином мы будем понимать совокупность всех явлений, связанных с поступлением влаги в почву, ее передвижением в почве, расходом из почвы, изменением состояния почвенной влаги. Следовательно, в понятие *водный режим почв* входит не только поведение влаги в самой почве, но и обмен влагой между почвой и другими природными телами атмосферой, грунтом и живыми организмами, главным образом — растениями. Поясним, что почвой мы называем корнеобитаемый слой, т. е. ту толщу, на которую непосредственно действуют подземные органы живых растений, грунтом — ту толщу горной породы, которая лежит сразу под почвой.

Кроме водного режима мы различаем еще режим влажности почвы, который обнимает все явления увеличения и уменьшения содержания влаги в почве.

Следовательно, режим влажности входит в водный режим как часть в целое

Водным балансом почвы мы называем совокупность величин, количественно характеризующих собою все явления поступления влаги в почву и ее расхода из почвы.

Сумма величин прихода и расхода влаги из почвы за тот или иной период времени характеризует собою величину влагооборота почвы за этот период.

Почвенную влагу называют также почвенным раствором, так как, являясь составной частью почвы, она всегда содержит в себе в растворенном состоянии различные вещества

I. Водные свойства почв, категории и формы почвенной влаги, ее доступность для растений*

Почва является рыхлым телом и состоит из частиц, размер которых колеблется от 1 мм до сотых и тысячных долей микрона. В промежутках между этими частицами, т. е. в почвенных порах, содержится почвенный воздух и почвенная влага. Общий объем пор в почве (т. е. ее порозность) варьирует от 25 до 60% в почвах минеральных и превышает 90% в почвах торфяных.

Влага в почвах может находиться в твердом, жидком и парообразном состоянии. Жидкая влага наиболее активна в почвообразовании и в водоснабжении растений.

Существуют категории почвенной влаги, которые могут переходить в жидкую влагу. Таких категорий можно выделить три: кристаллизационная влага, лед, парообразная влага.

Кристаллизационная влага входит в состав различных солей иногда в значительных количествах. Например, в составе мирабилита $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ее содержание достигает 56%. До тех пор, пока влага входит в состав твердых кристаллов, она не активна. Но как только соль растворяется, вся кристаллизационная влага переходит в состав почвенного раствора.

Лед является мало активной формой почвенной влаги, оказывая лишь физическое действие на почву в процессе замерзания воды, которое заключается в разрыхлении почвенной массы и ее цементации. При повышении

* Вопрос, которому посвящена эта глава, подробно изложен в научно-популярной книге А. А. Роде «Водные свойства почв и грунтов» (Изд-во АН СССР, 1955).

температуры лед тает и переходит в почвенный раствор. Парообразная влага, содержащаяся в почвенном воздухе, при понижении температуры конденсируется и тоже переходит в состав почвенного раствора.

Взаимоотношения между твердыми частицами почвы и жидкой почвенной влагой выражаются прежде всего в том, что некоторая часть влаги может прочно связываться (адсорбироваться) поверхностью почвенных частиц, образуя вокруг них оболочку. Свойства влаги в этой оболочке сильно отличаются от свойств свободной воды. Другая часть влаги тоже связывается (сорбируется), но уже не твердыми частицами непосредственно, а только что упомянутой оболочкой и тоже удерживается почвой, но менее прочно в сравнении с адсорбированной влагой. Третья часть влаги может свободно просачиваться через почву или передвигаться в ней в восходящем направлении. В связи с этим принято различать следующие важнейшие водные свойства почв: сорбционную способность, водоудерживающую способность и водопропускную способность, или водопроницаемость.

Водные свойства почвы и связанное с ними поведение почвенной влаги определяются действием различных сил: силы тяжести, сорбционных сил, исходящих от поверхности почвенных частиц, сил капиллярных, или поверхностного натяжения, присущих самой почвенной влаге, и, наконец, сил осмотических, обусловленных взаимодействием между молекулами воды, и ионами и молекулами веществ, находящихся в почвенном растворе.

Все эти силы действуют повсюду и одновременно. Но вследствие того, что они обладают различной величиной и радиусом действия, преобладающее или даже исключительное значение в каждый данный момент в разных участках почвенных пор имеют силы одной категории.

Из этих четырех категорий сил наибольшей величиной и в то же время наименьшим радиусом действия, измеряемым десятитысячными долями микрона, обладают силы сорбционные, которые достигают наибольшего значения в сухой почве. По мере нарастания влажности почвы сорбционные силы постепенно насыщаются и ослабевают и главная роль начинает переходить к силам капиллярным, величина которых соизмерима с силой тяжести. При дальнейшем увеличении влажности капил-

лярные силы тоже уменьшаются, и при полном насыщении почвы водой поведение значительной ее части начинает определяться главным образом силой тяжести. Что касается осмотических сил, то значительной величины они достигают лишь в засоленных почвах, имеющих высокую концентрацию почвенного раствора. Совокупность капиллярных, сорбционных и осмотических сил, источник которых находится в самой почве (в противоположность силе тяжести), иногда рассматривают как единую силу, называя ее сосущей, или всасывающей, силой почвы.

Отдельные порции почвенной влаги, находящиеся под преобладающим действием сил той или иной природы, называются категориями и формами почвенной влаги. Величины влажности почвы, при которых происходит более или менее резкое изменение влагопроводности почвы и подвижности почвенной влаги, называются воднофизическими почвенными константами. Некоторым из этих констант соответствует появление или исчезновение различных категорий и форм почвенной влаги.

Рассмотрим кратко основные водные свойства почв.

Сорбционная способность почв и связанная влага

Почвенные частицы могут адсорбировать (связывать) воду. Эта способность обусловлена присутствием на поверхности почвенной частицы свободных электрических зарядов разного знака. Молекулы же воды являются диполями, т. е. обладают двумя противоположно заряженными полюсами. Благодаря этому, почвенные частицы, соприкасаясь с жидкой или парообразной влагой, притягивают к своей поверхности молекулы воды и создают вокруг себя водную оболочку, состоящую из нескольких слоев молекул воды. Влага, из которой состоит эта оболочка, называется прочносвязанной. Она отличается повышенной плотностью. Например, в черноземе из Каменной степи максимальное содержание прочносвязанной влаги достигает 7,5%, а ее средняя плотность — 1,3%. Кроме повышенной плотности, прочносвязанная влага обладает пониженной теплоемкостью, ничтожной способностью растворять электролиты и проводить электрический ток.

Наибольшее количество влаги, которое может быть прочно связано почвой, называется ее максимальной адсорбционной влагоемкостью (МАВ). Она является одной из водно-физических констант.

Прочносвязанная влага удерживается адсорбционными силами, исходящими от самых твердых частиц почвы. Молекулы воды, образующие оболочку прочносвязанной влаги, ориентированны. Благодаря этому связывание влаги продолжается и при влажности, превышающей МАВ, но уже за счет сил притяжения, исходящих от ориентированных молекул воды внешнего слоя оболочки прочносвязанной влаги. В результате этого образуется вторая оболочка из так называемой рыхлосвязанной влаги, которая отличается от свободной влаги только пониженной способностью растворять электролиты и несколько повышенной вязкостью. Внешняя граница этой второй оболочки выражена не резко. Толщина ее может изменяться в зависимости от концентрации солей в почвенном растворе, так как ионы и молекулы почвенного раствора тоже обладают способностью протягивать к себе молекулы воды. Чем выше концентрация раствора, тем больше влаги связывается находящимися в ней ионами и молекулами и тем меньше остается ее на долю твердых частиц почвы, т. е. тем тоньше оболочка из рыхлосвязанной влаги.

Связывание влаги твердыми частицами почвы происходит при взаимодействии почвы как с жидкой, так и с парообразной влагой. Способность почвы связывать парообразную влагу называется гигроскопичностью почвы. Количество связываемой парообразной влаги возрастает с увеличением относительной влажности воздуха. Максимальной гигроскопичностью почвы (МГ) называется наибольшее количество парообразной влаги, которое может поглотить почва из воздуха, близкого к насыщению водяным паром.

Чем мельче почвенные частицы, тем больше количество поглощаемой ими парообразной влаги. Это объясняется тем, что суммарная поверхность частиц, от величины которой и зависит количество поглощаемой влаги, увеличивается с уменьшением размера частиц.

Часть почвенной влаги, которая не может быть связана почвенными частицами вследствие полного насыщения сорбционных сил, называется свободной влагой.

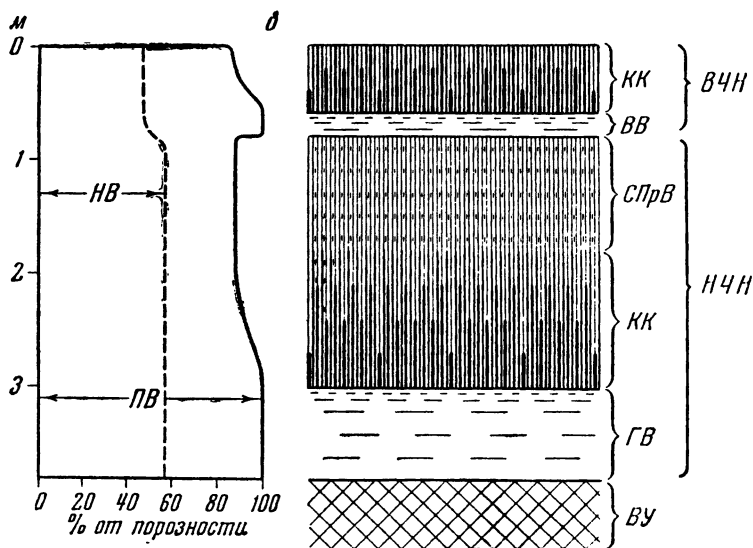
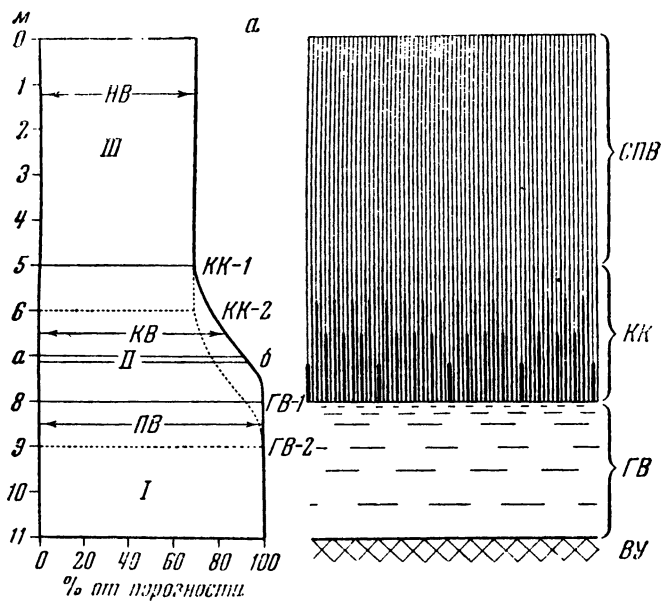
Водоудерживающая способность почв

Водоудерживающей способностью почвы мы называем ее способность удерживать в себе влагу, на которую действует сила тяжести, стремящаяся эту влагу из почвы удалить.

Влага в почве удерживается капиллярными и сорбционными силами, а также непроницаемостью водоупорного слоя.

Для того, чтобы составить себе представление о водоудерживающей способности почвы при различных величинах влажности, рассмотрим равновесное распределение влаги в почвенно-грунтовой толще, которое устанавливается в ней через некоторое время после ее сквозного промачивания сверху. Условимся, что почвенногрунтовая толща однородна по механическому составу, т. е. не слоиста, и что грунтовые воды в ней находятся на значительной глубине (не менее 8—10 м).

Распределение влажности в такой толще после окончания стекания влаги схематически изображено на рис. 2, а В нижней части толщины мы находим насыщенный влагой водоносный горизонт *I*, подстилаемый водоупорным слоем ВУ. Влажность водоносного горизонта равна полной влагоемкости. Полной влагоемкостью (ПВ) почвы называется наибольшее количество влаги, выраженное в процентах от веса сухой почвы или от ее объема, которое содержится в почве при полном заполнении всех пор водой. В скважине, проникающей в водоносный горизонт, появляется уровень свободной воды на глубине ГВ-1, которую мы и считаем верхней границей этого горизонта. Над водоносным горизонтом *I* мы находим следующий слой *II*, влажность которого в нижней части близка к ПВ, а далее кверху убывает. Еще выше мы находим слой *III*, в котором влажность меньше величины ПВ и постоянна по глубине. Линия КК-1 разделяет между собой *II* и *III* слои. Если уровень грунтовых вод в слое *I* по той или иной причине снизится и перейдет например в положение ГВ-2, то весь слой *II* также переместится вниз, сохраняя присущее ему распределение влаги, изображенное пунктиром. Верхняя граница слоя *II* перейдет в положение КК-2, мощность слоя *III* соответственно увеличится, но влажность в нем не изменится.



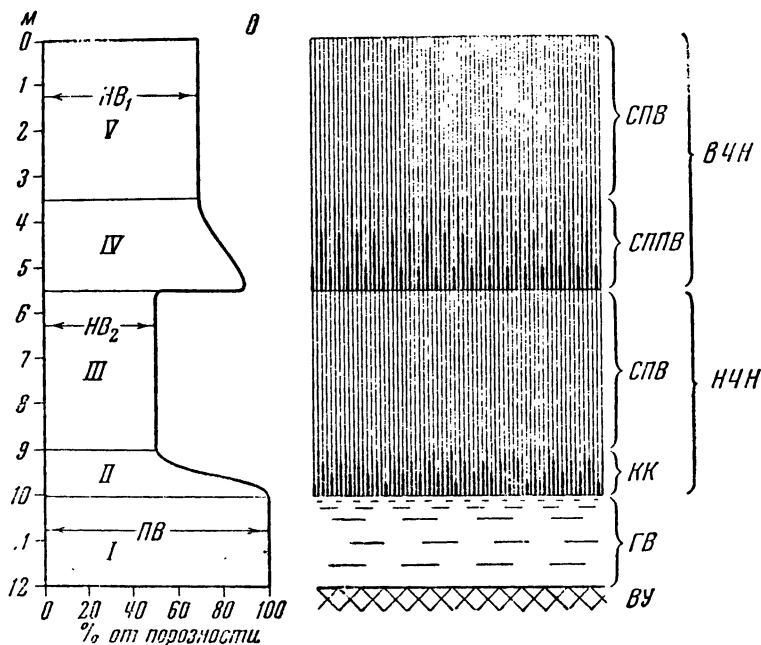


Рис. 2. Распределение влаги в промоченной насквозь почвенно-грунтовой толще

а—неслоистая почвенно-грунтовая толща; *б*—двучленная толща: более легкий нанос подстилается более тяжелым; *в*—двучленная толща: более тяжелый нанос подстилается более легким.

НВ—наименьшая влагоемкость, *КВ*—капиллярная влагоемкость, *ПВ*—полная влагоемкость, *ВВ*—верховодка, *СПрВ*—слой с просачивающейся влагой, *СППВ*—слой с подперто-подвешенной влагой, *СПВ*—слой с подвешенной влагой, *КК*—капиллярная кайма, *ГВ*—водоносный горизонт (грунтовые воды), *ВУ*—водоупорный слой, *ВЧН*—верхний член наноса, *НЧН*—нижний член наноса

Взаимосвязанное перемещение влаги в водоносном горизонте *I* и в слое *II*, называемом капиллярной каймой, говорит о том, что оба эти слоя содержат гравитационную влагу, т. е. влагу, способную передвигаться под влиянием силы тяжести. В водоносном горизонте эта влага удерживается благодаря непроницаемости водоупорного слоя. В слое *II* гравитационная влага удерживается капиллярными силами при подпирающем действии влаги, содержащейся в слое *I*. Поэтому влага, содержащаяся

ся в слое *II*, называется капиллярно-подпертой. Влага здесь удерживается совместным действием непроницаемого водоупорного слоя и капиллярных сил. Влажность капиллярной каймы соответствует капиллярной влагоемкости (КВ).

На рис. 2, *а* показано, что величина капиллярной влагоемкости слоя зависит от его положения над уровнем грунтовых вод. Так, например, капиллярная влагоемкость тонкого слоя *аб* при уровне грунтовых вод ГВ-1 равна 90% от полной влагоемкости, что соответствует в данной почве 22,5% от ее веса, а при уровне грунтовых вод ГВ-2; капиллярная влагоемкость того же слоя *аб* окажется равной уже 75% от полной влагоемкости, или 19% от веса почвы.

Гравитационная влага водоносного горизонта и капиллярной каймы при наличии уклона течет в боковом направлении. При расходе влаги из капиллярной каймы, например путем отсоса корнями растений, первоначальное распределение влаги в ней быстро восстанавливается за счет подъема из грунтовых вод, уровень которых при этом понижается. Мощность капиллярной каймы зависит от механического состава почвы. Чем он тяжелее, т. е. чем мельче частицы почвы и чем, следовательно, мельче ее поры, тем высота капиллярного подъема больше:

Размер частиц, мм	Высота подъема, мм
5,0—2,0	25
2,0—1,0	65
1,0—0,5	131
0,5—0,2	246
0,2—0,1	428
0,1—0,05	1055
0,05—0,02	2000

Однако величина водоподъемной способности в реальных почвенно-грунтовых толщах имеет определенный предел. В большинстве случаев высота капиллярного поднятия не выходит за пределы 3 м

Возвратимся теперь к рассмотрению нашего схематического рис. 2, *а*. В слое *III* почвенно-грунтовой толщи содержание влаги постоянно по глубине и не зависит, в отличие от капиллярной каймы, от расстояния до уровня

грунтовых вод. Эта влага называется подвешенной. Наибольшее количество подвешенной влаги, которое может удержать почва или грунт, называется ее наименьшей влагоемкостью (или предельной полевой влагоемкостью) и обозначается символом НВ.

Механизм удержания и некоторые свойства подвешенной влаги зависят от механического состава и структурного состояния почвы и грунта. Свойства этой влаги особенно четко выявляются по ее способности передвигаться к испаряющей поверхности в процессе испарения.

Наиболее важными формами подвешенной влаги являются следующие.

Влага капиллярно-подвешенная, стыковая возникает только в песчаных или более крупночастичных почвах и грунтах после полного стекания всего избытка гравитационной влаги. Эта влага не способна к восходящему капиллярному передвижению при испарении с поверхности, так как она содержится в точках стыка песчинок в виде мелких разобщенных скоплений, как это схематически изображено на рис. 3, а. Эти скопления имеют форму двояковогнутых линз, которые удерживаются капиллярными силами; содержащаяся в них влага в большей своей части является свободной.

Влага подвешенная, сорбционно-замкнутая свойственна почвам, и в особенности грунтам, пылевато-суглинистого механического состава, обладающим микроструктурой. Отличительное ее свойство состоит в том, что она способна к восходящему передвижению в жидком состоянии к поверхности испарения, не стекая под действием силы тяжести. Передвижение прекращается после того, как эта влага израсходуется и влажность испаряющей толщи снизится до некоторого предела, называемого влажностью разрыва капиллярной связи (ВРК).

Вторая форма подвешенной влаги, по-видимому, представляет собой отдельные микроскопления свободной влаги в более крупных порах, выходы из которых закрыты «пробками» из связанной влаги. Эта влага и передвигается к поверхности испарения. Ее содержание может достигать 10—30% от общего количества подвешенной влаги. Подвешенная влага показана на рис. 3, б.

Влага капиллярно-подвешенная, внутриагрегатная свойственна преимущественно почвам с хорошо выраженной комковатой или зернистой структурой (рис. 3-в). Отличительная черта этой формы

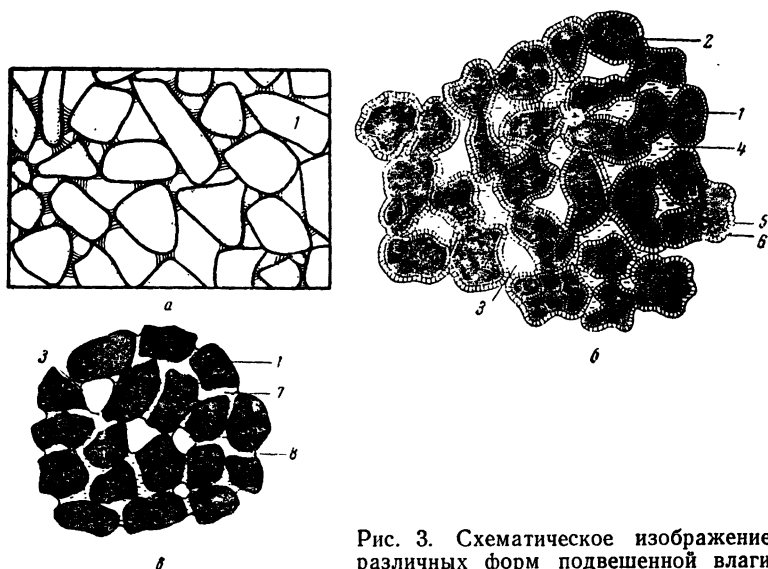


Рис. 3. Схематическое изображение различных форм подвешенной влаги

а — стыковая влага; б — сорбционно-подвешенная влага; в — внутриагрегатная капиллярно-подвешенная влага.

1—почвенные частицы, 2—микроагрегаты, 3—поры, заполненные воздухом, 4—поры, заполненные сорбционно-замкнутой влагой, 5—оболочки из рыхлосвязанной влаги. 6—оболочки из прочносвязанной влаги, 7—внутриагрегатная капиллярно-подвешенная влага, 8—мениски, удерживающие подвешенную влагу

влаги заключается в том, что большая ее часть не может передвигаться в жидком состоянии к поверхности испарения. На рисунке видно, что влага содержится в порах, пронизывающих агрегаты, и удерживается в них в виде разветвленных нитей или столбиков, концы которых венчаются менисками. Влага удерживается за счет разности поверхностных давлений нижних и верхних менисков. Эта разность превышает то гидростатическое давление, которое может быть создано столбиками.

Все сказанное о водоудерживающей способности почв относилось, как было условлено, к однородной по механическому составу почвенногрунтовой толще.

Посмотрим теперь, как влияет на водоудерживающую способность слоистость почвенногрунтовой толщи. Возьмем простейший случай, когда эта толща является двуслойной (двучленной). Рассмотрим этот случай в двух его вариантах: первый — когда крупнопористый (обычно более легкий по механическому составу) слой подстилается мелкопористым (обычно более тяжелым), и второй — когда имеет место обратный порядок залегания слоев.

На рис. 2, б показано распределение влаги после сквозного промачивания почвенногрунтовой толщи в первом случае. Над границей смены слоев мы видим скопление подпертой свободной гравитационной влаги, образовавшей водоносный горизонт и капиллярную кайму. Эта влага может быть названа верховодкой. Она накопилась в силу того, что водопроницаемость верхнего слоя превышает водопроницаемость нижнего. Скопление свободной гравитационной влаги бывает всегда кратковременным. Во-первых, потому, что запас ее всегда бывает невелик и быстро расходуется на испарение и десукцию; во-вторых, потому, что нижний слой, как более тонкопористый, постепенно всасывает эту влагу.

Следовательно, какого-либо длительного влияния на водоудерживающую способность почвы этот вариант двучленного строения почвенногрунтовой толщи не оказывает. Он вызывает лишь непродолжительное ее увеличение за счет задержки части гравитационной влаги в толще верхнего слоя.

Иное мы наблюдаем во втором случае (рис. 2, в), когда мелкопористый нанос подстилается крупнопористым. И здесь, над границей смены наносов, после сквозного промачивания, происходит накопление подвешенной влаги в количестве, превышающем НВ верхнего наноса. Но, в отличие от первого случая, эта влага прочно удерживается за счет разности поверхностных давлений верхних менисков, расположенных в более узких порах и обладающих большей кривизной, и нижних менисков, расположенных в более крупных порах, обладающих вследствие этого меньшей кривизной и большим поверхностным давлением. Эта разность поверхностных давлений и уравнивает гидравлическое давление свободной подвешенной влаги. Такая

влага обладает большой подвижностью и может капиллярно подтягиваться вверх и стекать в боковом направлении, если имеется уклон. По этим свойствам она походит на подпертую влагу капиллярной каймы и ее следует называть подвешенно-подпертой. Если почвенно-грунтовая толща не была бы двучленной, эта влага стекла бы вниз и уходила бы из корнеобитаемого слоя. Поэтому рассмотренный только что второй вариант двучленного строения почвенно-грунтовой толщи, широко распространенный в природе, оказывает большое влияние на водоудерживающую способность почвы, а следовательно, на ее водный режим и влагообеспеченность растений, особенно в засушливых условиях. Количество дополнительно удерживаемой влаги в форме подперто-подвешенной зависит от степени различия в механическом составе обоих слоев и от мощности верхнего наноса и может достигать многих десятков мм водного слоя.

Водопроницаемость почв

Водопропускной способностью почв называется присущее им свойство поглощать (впитывать) и фильтровать воду. Эта способность — следствие порозности почв. Впитывание влаги почвой происходит под действием силы тяжести в сочетании с капиллярными силами. Количественной характеристикой водопропускной способности почв является их водопроницаемость.

Процесс поступления жидкой влаги в почву называется инфильтрацией. Водопроницаемость почвы количественно принято характеризовать величиной интенсивности инфильтрации (толщина слоя воды, инфильтрирующейся в почву в единицу времени в миллиметрах водного слоя). Эта интенсивность весьма изменчива во времени. При поступлении влаги на поверхность почвы, ненасыщенной влагой, интенсивность инфильтрации бывает вначале более или менее значительной, а в дальнейшем уменьшается — сначала быстро, а затем медленнее. Это явление иллюстрируется кривой I на рис. 4, на котором изображена динамика изменения водопроницаемости темно-серой суглинистой почвы в процессе инфильтрации. В этом процессе различают две

стадии: стадию впитывания влаги почвой, не насыщен-
ной влагой, и стадию фильтрации влаги через почву,
насыщенную влагой.

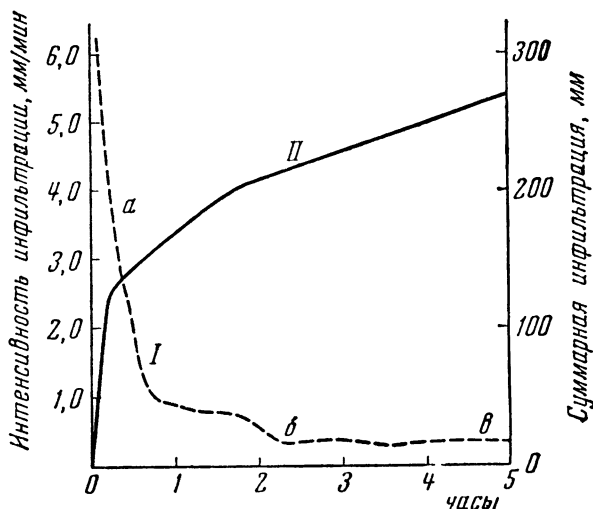


Рис 4 Инфильтрация влаги в темно-серую почву.
(По данным Созыкина)

I—кривая интенсивности инфильтрации. *II*—кривая впитывания (суммарной инфильтрации). Буквами *а*, *б*, *в* обозначены участки кривой с разной интенсивностью инфильтрации

Рассматривая кривую *I*, видим, что водопроницаемость почвы, вначале превышающая 6 мм/мин, в течение первого часа инфильтрации быстро падает. Медленное ее падение продолжается и в течение второго часа, а в начале третьего — водопроницаемость стабилизируется и далее колеблется около средней величины, равной примерно 0,33 мм/мин. Эта последняя постоянная величина называется коэффициентом фильтрации. Принято считать, что участок *аб* кривой *I* соответствует процессу насыщения почвы водой, а участок *бв* — процессу фильтрации влаги через почву, насыщенную водой.

Кривая *II* на рис. 4 называется кривой суммарной инфильтрации или кривой впитывания. Она показывает нарастание общего количества влаги, впитанной почвой

с момента начала инфильтрации. По ней можно легко определить, какое количество влаги может впитать почва за тот или иной срок

Влага, движущаяся в почве вниз под действием силы тяжести, называется гравитационной просачивающейся влагой.

Большая величина водопроницаемости вначале и ее резкое уменьшение в дальнейшем объясняются тем, что в первый период — период впитывания — происходит заполнение влагой порового пространства почвы, первоначально не насыщенного влагой. По мере заполнения этого пространства водопроницаемость уменьшается и достигает своего наименьшего постоянного значения (коэффициента фильтрации) после того, как поровое пространство будет заполнено влагой и начнется процесс фильтрации воды через почву, насыщенную влагой. Говоря о заполнении порового пространства водой, не следует забывать, что заполнение никогда не бывает полным, ибо в поровом пространстве всегда остается то или иное количество заземленного воздуха, который может занимать 10—20% общего объема пор. Кроме того, водопроницаемость почвы уменьшается в результате изменения фильтрационных свойств самой почвы при набухании почвенных коллоидов и сужении или даже полном закрытии многих трещин, пор и т. д.

Водопроницаемость почвы может понижаться и вследствие того, что дождевые капли, падающие на поверхность почвы, разрушают почвенные комочки и вызывают заиливание почвенных пор. Это явление может иметь чрезвычайно большое значение в тех случаях, когда поверхность почвы не защищена или слабо защищена растительным покровом.

Величина водопроницаемости почвы зависит от суммарного объема пор (от величины общей порозности) и от размера пор. И то и другое в свою очередь зависит от механического и агрегатного состава почвы. Чем легче механический состав, тем крупнее поры и тем выше водопроницаемость. Эта закономерность непосредственно приложима лишь к почвам и грунтам, раздельно-частичным пескам и супесям. В суглинистых и глинистых почвах влияние механического состава на водопроницаемость отходит на второй план, уступая

место влиянию структурности, характеризуемой содержанием комочков разного размера, т е агрегатным составом. Так как агрегатный состав и структура зависят от механического состава, растительности и особенностей строения почвенного профиля, то вполне естественны попытки найти характерные средние величины водопроницаемости для различных типов почв. Однако попытки оказались мало удачными в силу того, что агрегатное состояние почвы очень изменчиво. Это относится в особенности к культурным почвам, которые часто подвергаются механической обработке, разрушающей структуру, и засеиваются однолетними и многолетними растениями, имеющими разное строение корневых систем, различные корневые массы

Все эти факторы влияют на фильтрационные свойства почв гораздо сильнее, чем принадлежность их к тому или иному генетическому типу. Поэтому в настоящее время можно лишь весьма приблизительно группировать почвы в отношении их водопроницаемости, учитывая главным образом механический состав и лишь отчасти — генетический тип почвы.

Всасывающая сила почв

Мы уже знаем, что в почве возникают сорбционные и капиллярные силы, которые позволяют ей удерживать влагу. Они выполняют и другую роль — вызывают впитывание, всасывание воды в почву. С примерами действия этих сил мы уже знакомы. Если совершенно сухую почву привести в соприкосновение с воздухом, содержащим водяной пар, то часть этого пара (тем большая, чем выше относительная влажность воздуха) поглотится поверхностью почвенных частиц. Если конец колонны сухой почвы погрузить в сосуд с водой, то вода начнет всасываться в почву. Все эти явления представляют собой проявление всасывающей силы почвы. Под этим понятием объединяется совокупность капиллярных, сорбционных и осмотических сил почвы.

Величина всасывающей силы и ее природа зависят от влажности почвы и содержания в почвенном растворе солей. Чем выше влажность почвы и чем меньше в ней солей, тем всасывающая сила почвы меньше. Эту силу принято количественно характеризовать вели-

чиной всасывающего давления, т е величиной силы на единицу площади. Измеряется всасывающее давление в атмосферах и сантиметрах ртутного или водного столба. Всасывающее давление в почве, полностью насыщенной влагой, равно нулю. С понижением влажности почвы всасывающее давление начинает по своей абсолютной величине повышаться и достигает 50—70 см водного столба в почвах песчаных и 400 см в почвах тяжело суглинистых. Дальнейшее иссушение вызывает постепенное освобождение сил сорбционной природы, которые до этого момента были полностью насыщены сорбированной влагой. Когда влажность упадет до величины влажности завядания, всасывающее давление достигает примерно 15 атм. Эта величина, следовательно, характеризует собою наибольшую силу, с которой растение может всасывать влагу из почвы в процессе своей нормальной жизнедеятельности до начала завядания. Дальнейшее уменьшение влажности почвы до величины максимальной гигроскопичности влечет за собой увеличение величины всасывающего давления примерно до 35 атм. Совершенно сухая почва обладает всасывающим давлением порядка 10 000 атм.

Всасывающая сила почвы является также и причиной передвижения влаги в почве. Если между двумя точками почвенной толщи имеется разность всасывающих давлений, то возникает движение влаги от точки с меньшим абсолютным давлением (следовательно, с более высокой влажностью) к точке с большим давлением (следовательно, с меньшей влажностью).

Доступность почвенной влаги для растений

Влага, содержащаяся в почве,—самый важный источник влаги для растений. Для того, чтобы понять зависимость влагообеспеченности растений от содержания влаги в почве и ее водного режима и их обратное влияние на этот режим, следует предварительно познакомиться с взаимоотношениями между растением и почвенной влагой

Влага из почвы поступает в растение через корни при участии сосущей силы. Природа этой силы осмотическая, т е сосущая сила корневых клеток есть проявле-

ние осмотического давления клеточного сока. В свою очередь это давление создается различными веществами, растворенными в клеточном соке. Осмотическое давление тем выше, чем выше концентрация раствора.

Вырабатывая различные соединения, поступающие в сок корневых клеток, растение может в известных пределах менять осмотическое давление, а следовательно, и сосущую силу клеток.

Почвенная влага всегда обладает тем или иным осмотическим давлением. В почвах незасоленных осмотическое давление почвенного раствора обычно не превышает десятых долей атмосферы, в то время как сосущая сила корней может достигать одной — двух атмосфер и более. В силу этого корни беспрепятственно всасывают влагу из почвы.

Но сосущая сила корней не единственный двигатель, способствующий извлечению влаги из почвы. Второй двигатель — листовой аппарат растений. Листья растений испаряют влагу в дневные часы. Этот процесс называется транспирацией. Благодаря испарению влаги из клеток листа, концентрация клеточного сока, а следовательно и его осмотическое давление повышается. В клетках листьев тоже развивается сосущая сила, которая тянет влагу по сосудам из корней. Таким образом, влага поступает из почвы в растения благодаря работе двух «двигателей» — нижнего корневого и верхнего листового, работающих в одном направлении.

От каких же условий зависит эффективность работы этих двигателей, а следовательно, и влагообеспеченность растений?

По мере того, как корень извлекает влагу из почвы, влажность ее около корневого окончания становится все меньше и может понизиться до того предела, за которым остаточная влага растениям уже не доступна, так как она удерживается в почве силами, превышающими сосущую силу растений.

Недостаток влаги в точке расположения кончика корня может компенсироваться по-разному.

По мере иссушения микроучастка почвы, прилегающего к кончику корня, сосущая сила почвы в этом микроучастке повышается и вызывает передвижение влаги к корневым окончаниям из соседних микроучастков,

Таблица 1

Категории и формы почвенной влаги

Категории	Формы	Степень подвижности	Примечание
Кристаллизационная		Неподвижная	Переходит в жидкую при растворении кристаллов
Твердая (лед)		Неподвижная	Переходит в жидкую при температуре выше 0°
Парообразная		Легко передвигается в форме пара	Переходит в жидкую при конденсации
Прочносвязанная		Неподвижная	
Рыхлосвязанная		Трудноподвижная	Верхний предел влажности, при которой существует рыхлосвязанная влага, является неопределенным, так как при одной и той же влажности ее содержание может меняться в зависимости от концентрации почвенного раствора
Свободная	Подвешенная стыковая	Неподвижная	Характерна для песчаных почв и грунтов
	Подвешенная сорбционно замкнутая	Среднеподвижная	Характерна для пылевато-суглинистых почв и грунтов
	Подвешенная внутриагрегатная	Среднеподвижная в пределах агрегата	Характерна для суглинистых и глинистых почв с микроструктурой
	Подперто-подвешенная	Легкоподвижная	Характерна для двучленных почвенно-грунтовых толщ при подстилании мелкозернистого наноса крупнозернистым
	Гравитационная просачивающаяся	Легкоподвижная	
	Гравитационная капиллярно-подпертая (капиллярная кайма)	Легкоподвижная	
	Гравитационная подпертая (водоносный горизонт)	Очень легко подвижная	Фактическая влажность в водоносном горизонте может быть несколько ниже ПВ за счет объема защемленного воздуха

где влажность выше, а сосущая сила меньше. Такое перетекание влаги идет особенно легко при высоких величинах влажности. С понижением влажности почвы ее влагопроводность падает и приток влаги замедляется, ввиду чего начинается замедляться и рост растений. На помощь приходит их способность углублять свои корни в почву и развивать новые (особенно хорошо это видно у однолетних растений, т. е. у большинства сельскохозяйственных культур). Проникая в нижележащие, более влажные, слои почвы и ветвясь, корни получают возможность извлекать из почвы все новые и новые порции влаги.

Однако и эта способность растений не обеспечивает извлечение всей влаги. Дело в том, что поперечник корневых волосков равен приблизительно 0,01 мм. Большинство же почвенных пор имеют меньший диаметр, в силу чего даже тонкий корневой волосок не может добраться до влаги, заключенной в таких порах. Независимо от этого, почвенная влага не может быть усвоена растениями полностью. Совершенно не усваивается вся прочносвязанная влага. Силы адсорбции, которые удерживают ее, значительно превосходят сосущую силу корней, которая не может превышать 10—20 атм. Поэтому растения не могут оторвать от почвенных частичек пленку прочносвязанной влаги. Остальная часть влаги, в том числе и рыхлосвязанная влага, могла бы быть усвоена растениями, т. е. сосущая сила их корней достаточно велика для того, чтобы извлечь эту влагу из почвы. Но часть влаги, заключенная в тонких порах, недоступна для корневых волосков, поэтому растения начинают страдать от недостатка влаги, т. е. завядать, задолго до того, как в почве останется одна лишь прочносвязанная влага. Эта влажность, при которой растения начинают завядать даже в атмосфере, насыщенной водяным паром, называется почвенной влажностью устойчивого завядания растений, или просто влажностью завядания. Она несколько выше максимальной гигроскопичности и в два-три раза превышает величину максимальной адсорбционной влагоемкости.

Таким образом, по признаку доступности для растений мы можем выделить следующие категории почвенной влаги:

недоступная	—	интервал влажности от нуля до максимальной адсорбционной влагоемкости
очень труднодоступная	—	от максимальной адсорбционной влагоемкости до влажности устойчивого завядания
труднодоступная*	—	от влажности устойчивого завядания до влажности разрыва капиллярной связи
среднедоступная	—	от влажности разрыва капиллярной связи до наименьшей влагоемкости
легкодоступная, переходящая в избыточную	—	от наименьшей влагоемкости до полной влагоемкости

В заключение главы приводим обзорную таблицу категорий и форм почвенной влаги.

* Название «труднодоступная» по отношению к этой категории является условным, так как степень доступности почвенной влаги в этом интервале влажности заметно возрастает, будучи очень низкой у его нижней границы (ВЗ) и значительной у верхней границы (ВРК). Поэтому характеризовать степень доступности во всем интервале каким-то одним термином нельзя и выражение «труднодоступная» условно.

II. Элементы водного режима почв

Мы определили водный режим почв, как совокупность взаимосвязанных явлений поступления влаги в почву, ее передвижения в почве, ее расхода из почвы и явлений изменения состояния почвенной влаги. Эти явления называются элементами водного режима почв.

Важнейшие из них:

поступление на поверхность почвы атмосферных осадков,
сток жидкой влаги по поверхности почвы,
ветровой перенос снега по поверхности почвы,
инфильтрация жидкой влаги в почву,
конденсация в почве водяного пара, поступающего из
атмосферы,
передвижение влаги в почве,
почвенный сток,
поступление в почву влаги из грунтовых вод,
грунтовый сток,
испарение влаги из почвы,
десукция влаги из почвы растительностью (транспирация),
замерзание и оттаивание почвы.

Все элементы водного режима почв принципиально могут быть охарактеризованы количественно (их количественные характеристики являются элементами водного баланса почв).

Однако такая характеристика некоторых элементов пока еще неосуществима из-за отсутствия соответствующих методов.

Поступление атмосферных осадков

Важнейший источник почвенной влаги — атмосферные осадки, поступающие на поверхность почвы. Лишь после того, как осадки полностью или частично инфильтрируются в почву, они становятся почвенной влагой. Основная характеристика количества атмосферных осадков — их годовая сумма. Однако этой характеристике недостаточно: необходимо знать и внутригодовое распределение осадков, которое может быть очень различным, что влияет на величину и режим атмосферного увлажнения почвы.

Рис. 5 иллюстрирует разнообразие внутригодового распределения осадков в нескольких пунктах СССР.

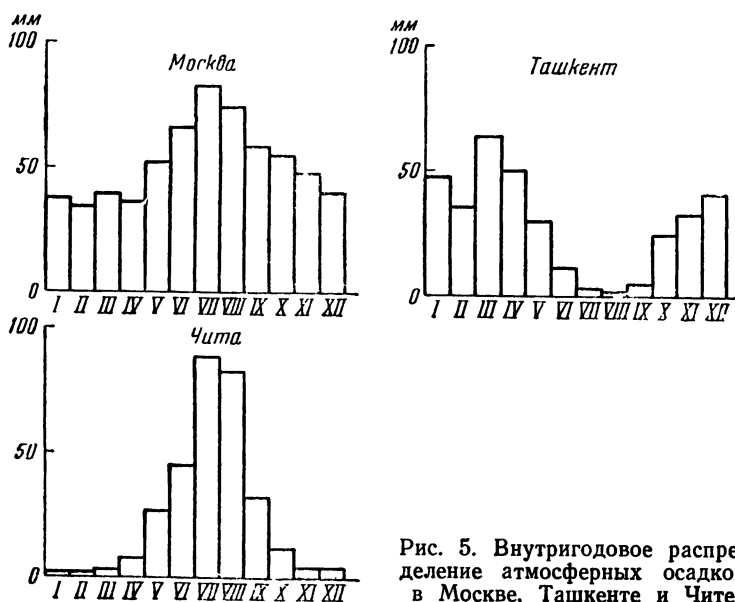


Рис. 5. Внутригодовое распределение атмосферных осадков в Москве, Ташкенте и Чите

В Москве осадки выпадают круглый год, максимальное количество приходится на летние месяцы. В Ташкенте в течение трех летних месяцев осадков нет, а максимальное их количество приходится на раннюю весну. Наконец, в Чите зимой выпадает ничтожное количество осадков, а в конце лета — максимальное.

Большое влияние на режим атмосферного увлажнения оказывает многолетняя изменчивость количества осадков. На рис. 6 показан ход многолетних годовых сумм осадков по данным двух метеостанций

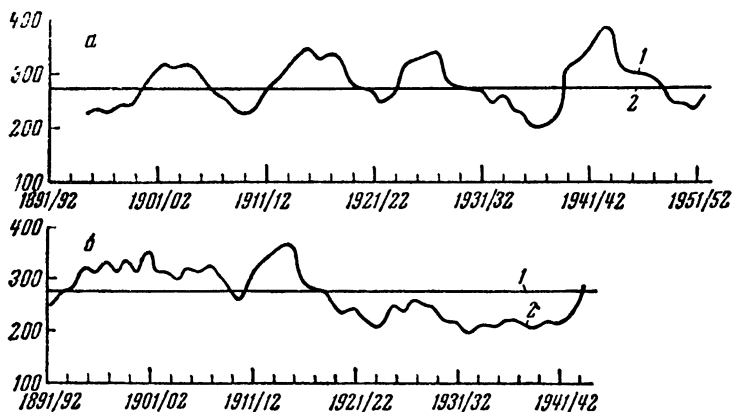


Рис 6 Многолетняя изменчивость годовых сумм атмосферных осадков по данным Костычевской (а) и Уральской (б) метеостанций

1—средняя многолетняя сумма, 2—средние годовые суммы по скользящим пятилетиям

На рис. 6, а мы видим, что годовые суммы осадков на Костычевской метеостанции за период с 1891 по 1952 год испытывали закономерные колебания; продолжительность полного периода колебаний составила 13—14 лет.

Иную картину дает Уральск (рис. 6, б) основные колебания охватывают периоды около 50 лет, на фоне которых имеют место колебания с более коротким периодом — около 13 лет, но выраженные не столь отчетливо. Количество осадков сильно колеблется. В Уральске средняя годовая сумма осадков за влажный полупериод (1893—1917) равна 320 мм, за сухой полупериод (1917—1943) — 230 мм, т. е. во влажный полупериод средняя годовая сумма осадков почти в полтора раза больше, чем в сухой. Разница, таким образом, получается огромная.

Данные по обоим пунктам показывают, что колебания годовых сумм атмосферных осадков не случайны, а подчинены многолетней периодичности; продолжительность периода может быть различной. Изучение периодичности при исследовании водного режима почв позволяет предсказывать режим увлажнения почвы. Многолетней периодической изменчивостью обладают и другие элементы климата.

Существенное значение с точки зрения эффективности осадков как источника влаги для растений, имеет сила атмосферных осадков. Количественно ее можно характеризовать суточными суммами осадков.

В различных областях Советского Союза относительная роль осадков разной силы примерно одинакова. Суточные суммы менее 1 мм составляют лишь 6—8% годового их количества; осадки от 1 до 5 мм достигают одной трети; от 5 до 10 мм — одной четверти, а суточные суммы свыше 10 мм — от одной трети до двух пятых годового количества осадков.

Значительная часть осадков выпадает в столь малых количествах (суточные суммы 5 мм и менее), что для снабжения влагой растений она существенного значения не имеет. Ничтожная эффективность этих осадков объясняется тем, что часть их сразу же испаряется с поверхности растений и почвы, а другая часть промачивает почву на незначительную глубину и влага не доходит до сосущих окончаний корней. Всего малоэффективных осадков набирается от одной трети до двух пятых годовой суммы.

Не все количество осадков, выпадающих в том или ином пункте и учитывающихся дождемерами или осадкомерами, достигает поверхности почвы. Значительная доля их задерживается растительным покровом: листьями, стеблями, ветвями и стволами древесных и травянистых растений, — и испаряется обратно в атмосферу, не попадая на поверхность почвы. Количественная сторона этого явления обстоятельно изучена в отношении древесных растений и весьма слабо — в отношении растений травянистых.

Количество осадков, задерживаемых кронами деревьев, зависит от их состава, возраста и густоты расположения. Наибольшее количество осадков за год (30—40%) задерживается еловыми древостоями, меньшее

(около 25%) — сосновыми и совсем малое (15—20%) — лиственными, зимнеголыми.

Количество задержанной влаги зависит от силы дождя: чем он сильнее, т. е. чем большее количество осадков выпадает за один прием, тем меньше относительное количество влаги, задержанной кронами деревьев. Хвойные деревья задерживают примерно одинаковое количество осадков и летом и зимой, зимнеголые же зимой задерживают совершенно ничтожное количество их.

Осадки, проникающие под полог деревьев и кустов, распределяются очень неравномерно. В то время как под «окнами» в лесном пологе на поверхность почвы поступает почти все количество осадков, выпадающих над лесом, около стволов лиственных деревьев до почвы доходит приблизительно 30%, а около стволов ели — менее 10%.

Что касается травянистой растительности, то, по-видимому, она задерживает атмосферные осадки не в меньшем количестве.

Поверхностный сток

Жидкая влага атмосферных осадков, поступающая на поверхность почвы в виде дождей или талых вод, инфильтрируется в почву. Однако интенсивность поступления ее нередко превышает водопроницаемость почвы, и часть жидкой влаги стекает по ее поверхности, образуя поверхностный сток.

Поверхностное стекание воды совершается под действием силы тяжести и благодаря наклону поверхности. На скорость стекания влияют величина уклона и строение поверхности — степень ее шероховатости, зависящая от микрорельефа, состава и густоты растительного покрова и т. д. Количество стекающей воды определяется соотношением интенсивности поступления ее на поверхность почвы и интенсивности инфильтрации последней, т. е. зависит от водопроницаемости почвы.

На равнинных пространствах СССР наибольшее значение имеет весенний сток талых вод, так как именно во время снеготаяния наблюдается наиболее интенсивное и длительное поступление жидкой влаги на поверхность почвы. Интенсивность водоотдачи из талого снега может достигать 4—6 мм в час при суточной сумме 30—40 мм.

Кроме того, весной наблюдаются и наиболее низкие (вплоть до нулевых) величины водопроницаемости почвы вследствие мерзлого ее состояния. Однако водопроницаемость в это время все же очень изменчива, в силу чего коэффициент весеннего стока (т. е. доля талых и дождевых вод, стекающих поверхностным стоком) может варьировать в очень широких пределах. Наблюдения в Подмоскowie показали, что коэффициент весеннего стока с залежи при уклоне около 0,002 варьировал в течение 9 лет от 0,01 до 0,95 при средней его величине 0,52. В одни годы талые воды почти целиком стекали в другие — почти целиком инфильтрировались в почву; в среднем стекало около половины талых вод. Коэффициент стока летних дождевых вод достигал лишь нескольких процентов, на пашне же сток дождевых вод достигал одной трети от общей величины годового стока, что говорит о большом влиянии растительности на величину стока.

Летний дождевой сток в большой мере зависит от интенсивности дождя. Дожди силой до 10 мм стока обычно не дают. Общее число таких дождей за теплый сезон достигает 90—95%. Дожди же силой более 10 мм, число которых составляет 5—10% за теплый сезон, очень часто вызывают поверхностный сток

Большое влияние на сток оказывает зимний режим погоды. В местностях, где наблюдаются частые зимние оттепели, почва обычно не замерзает и сохраняет свою водопроницаемость. В результате многократного подтаивания или даже полного стаивания снега зимой поверхностный сток или значительно уменьшается или полностью отсутствует, и количество влаги, инфильтрующейся в почву, повышается. Вместе с тем наступление значительной оттепели часто вызывает образование на промерзшей ранее почве ледяной корки, которая может снизить водопроницаемость до нуля

Поверхностно стекающая влага перераспределяется под влиянием микрорельефа. Чтобы иллюстрировать большое значение, какое имеет микрорельеф для водного режима почвы, рассмотрим северо-западную часть Прикаспийской низменности. Эта низменность в целом представляет собой идеальную равнину с отчетливо выраженным микрорельефом в виде замкнутых западин округлой формы от 3 до 25 м в поперечнике. Они

отделены друг от друга микроповышениями, сливающимися в общий фон и соединяющимися с западинами микросклонами. Разность высот микроповышений и днищ западин колеблется от 10 до 40 см. Этот микро-рельеф и вызывает поверхностное перераспределение влаги зимой. Снег сносится ветром в западины и задерживается в них остатками растительности, а весной талые воды стекают в западины.

По средним данным за десять лет (1951—1960), запас влаги в снеге перед снеготаянием и приращение запаса влаги в почве за осенне-зимне-весенний период на разных элементах микрорельефа равны (в мм):

	В запа- динах	На микро- склонах	На микро- повыше- ниях
Запас влаги в снеге	104	74	49
Приращение запаса влаги . .	332	144	80

Благодаря такому перераспределению влаги в западинах образовались темно-цветные черноземовидные почвы, полностью лишенные солей, несущие на себе богатую разнотравно-злаковую растительность; на микросклонах — светло-каштановые почвы с гораздо более скудным покровом из ромашника и остреца, а на микроповышениях — солончаковые солонцы с очень бедным покровом из черной полыни и прутняка.

В безлесных и сильно пересеченных местностях широко распространен поверхностный снос снега ветром в овраги и балки. В результате специальных наблюдений, проведенных в 1951/1952 и 1952/1953 гг. выяснилось, что в бассейне реки Дон сносится до 20% снега. Снос был тем больше, чем сильнее пересечена местность. В Подмосковье зимний снос снега с полей варьирует от 10 до 80%.

Таким образом, зимний ветровой снос снега может достигать значительной величины. Поверхностное перераспределение влаги может очень сильно изменить количество влаги, поступающей в почву, по сравнению с нормальным количеством атмосферных осадков.

Инфильтрация

Часть атмосферных осадков, поступивших на поверхность почвы, далее впитывается, или инфильтруется, в ее толщу. С процессом инфильтрации мы познакомились, когда говорили о водопроницаемости почвы. Однако динамика интенсивности инфильтрации, показанная на рис. 4, наблюдается лишь при экспериментальном определении водопроницаемости. В этих условиях над поверхностью почвы поддерживается слой свободной воды в несколько сантиметров или поверхность почвы увлажняется путем дождевания; причем интенсивность полива в течение всего опыта превышает максимальную интенсивность инфильтрации, а избыток воды стекает с поверхности почвы.

В природе эти явления протекают иначе. В ходе поступления влаги в почву можно различить две фазы.

Первая — фаза свободной инфильтрации, при которой поверхность почвы остается свободной от воды, а интенсивность дождя не превышает интенсивности инфильтрации. При малом количестве снега или при ливнях небольшой силы инфильтрация может ограничиться лишь этой фазой (табл. 2).

Таблица 2

*Высота слоя дождя, впитывающегося в почву до начала стока на каштановой почве, при различной интенсивности дождя**

Угодье	Интенсивность дождя мм/мин					
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,5	2,0
Целина, участок 1	125	—	132	99	60	26
Целина, участок 2		—	141	113	27	14
Жнивные проса		132	82	13	14	32
Жнивные пшеницы		130	55	18	22	16
Пар	—	—	80	19	15	24
Пашня	—	55	74	29	28	22

Из этих данных мы видим, что величина инфильтрации при малых интенсивностях может быть очень большой, особенно если интенсивность ниже той, которая необходима для образования стока

* По данным Коль.

Вторая фаза — фаза напорной инфильтрации. Она наблюдается при дружном снеготаянии или при летних ливнях большой силы. При этом на поверхности почвы в углублениях микрорельефа образуется слой свободной воды. В этой фазе интенсивность дождя выше максимально возможной интенсивности инфильтрации.

Большая часть атмосферной влаги поступает в почву только что рассмотренным путем, т. е. путем инфильтрации в жидком состоянии. Однако возможен и другой путь, когда в поры почвы влага поступает из атмосферы в виде пара, который затем конденсируется и переходит в жидкую влагу. Имеется много косвенных фактов, указывающих на то, что этот процесс при некоторых условиях может быть источником накопления ощутимых количеств почвенной влаги. Однако до сего времени явление конденсации не подвергалось систематическому и точному изучению, несмотря на всю его большую практическую значимость для засушливых районов, и оценить его с количественной стороны в настоящее время нельзя. По-видимому, существенное значение конденсация может иметь лишь в грубчастичных почвах: песчаных, хрящеватых, щебнистых.

Физическое испарение влаги из почвы

В настоящем разделе * мы рассмотрим явления возврата влаги в атмосферу.

Значительная часть влаги, поступившей в почву, возвращается обратно в атмосферу в парообразном состоянии. Этот возврат может происходить путем физического и физиологического испарения.

Физическим испарением мы называем испарение влаги из почвы без участия растений. Физиологическим испарением или транспирацией называется процесс испарения из листьев и других органов растений влаги, которую растения извлекают из почвы. Величина транспирации практически равна величине десукции, т. е. количеству влаги, извлекаемому растениями из почвы.

Суммарным испарением, или эвапотранспирацией, называется совокупность процессов физического испа-

* Первая часть этого параграфа изложена главным образом по работам М. И. Будыко.

рения влаги из почвы и с поверхности растительного покрова и транспирации

Испарение, как известно, требует затраты тепла — скрытой теплоты парообразования, равной 0,6 ккал на 1 г воды. Поэтому процессы испарения в общем виде следует рассматривать в связи с тепловым балансом.

Важнейшим, практически единственным источником энергии для процессов, происходящих на поверхности земли, является солнечная радиация. Из общего количества энергии, получаемой землей от солнца, 68 ккал/см²/год составляют среднюю величину так называемого радиационного баланса, т. е. того количества лучистой энергии, которое достигает земной поверхности, трансформируется в тепловую энергию и расходуется на различные процессы на поверхности почвы и в ее толще. Под земной поверхностью в данном случае понимается частично проницаемый для лучистой энергии слой, состоящий из поверхностных слоев почвы и произрастающей на ней растительности, т. е. то, что принято называть подстилающей поверхностью. Мощность этого слоя может изменяться от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров в зависимости от высоты растительности. Радиационная энергия, поглощаемая им, превращается в тепловую и расходуется на испарение влаги, нагревание почвы и на турбулентную отдачу тепла в атмосферу. Количество тепла, которое расходуется на нагревание почвы (годовой теплооборот), находится в прямой зависимости от годовой амплитуды температуры воздуха:

амплитуда температуры воздуха, С°	10	15	20	25	30	40	50
теплооборот (сумма рас- хода и прихода) поч- вы, ккал/см ²	1,8	2,8	3,7	4,6	5,5	7,7	9,2

В среднем годовом цикле тепловой баланс почвы равен нулю, так как почва не испытывает ни прогрессивного нагревания, ни прогрессивного охлаждения. Из 68 ккал, составляющих радиационный баланс, 12 расходятся на турбулентный обмен с атмосферой, а 56 — на испарение. Это средние величины, и они сильно изменяются географически главным образом в зависимо-

сти от широты местности: радиационный баланс возрастает от полюсов к экватору.

Поскольку в годичном цикле тепловой баланс почвы равен нулю, постольку уравнение теплового баланса суши для среднего года может быть записано так:

$$R = LE + P,$$

где R — радиационный баланс

E — величина испарения (количество испаряющейся влаги)

L — скрытая теплота испарения

P — турбулентный обмен.

Обозначим через r годовую сумму осадков, тогда Lr выразит максимальную затрату тепла на испарение. С другой стороны, если

$$\frac{R}{L} = E_0,$$

то E_0 — максимальное количество влаги, которое может испариться при данной величине радиационного баланса, т. е. величина испаряемости.

Водный режим местности в общем складывается в зависимости от соотношения между R и r . При малых величинах r и значительных величинах R величина

$\frac{R}{Lr}$ будет неограниченно возрастать с уменьшением r , в силу чего величина E будет стремиться к величине r или $\frac{E}{r}$ к единице. А так как величина стока равна

$f = r - E$, то в этом случае она будет стремиться к нулю. Наоборот, при высоких значениях r и умеренных величинах R расход тепла на испарение LE будет возрастать до величины R . Тогда отношение $\frac{R}{Lr}$ будет стремиться к нулю вследствие возрастания r и уменьшения R . Сток, равный $f = r - E$, будет возрастать.

Отношение $\frac{R}{Lr} = \frac{E_0}{r}$

называется индексом сухости; оно показывает, во сколько раз испаряемость больше суммы осадков. Этот индекс применяется для общей характеристики водно-

теплового режима, поскольку последний определяется климатическими условиями. Другим аналогичным, но обратным показателем является так называемый коэффициент увлажнения КУ* — отношение суммы осадков к сумме испаряемости за один и тот же период.

Каждой биоклиматической зоне соответствуют свои интервалы величин индекса сухости и коэффициента увлажнения:

Зона	Индекс сухости	Коэффициент увлажнения	Средний коэффициент поверхностного стока
Тундры	0—0,3	} > 1,0	0,7
Лесная	0,3—1,0		0,3—0,7
Степная	1,0—2,0	1,0—0,5	0,1—0,3
Полупустынная	2,0—3,0	0,5—0,33	} < 0,1
Пустынная	> 3,0	< 0,33	

Как мы видели, предельно возможная величина испарения со свободной водной поверхности, т. е. испаряемость, определяется по формуле $E_0 = \frac{R}{L}$. Вычислять величину испарения из почвы с помощью этой формулы нельзя, так как на величину испарения влияет и влагопроводность почвы, зависящая от ее влажности.

Когда мы говорим об испарении влаги из почвы, мы имеем в виду всю толщу почвы. В действительности процесс испарения совершается с поверхности, которая совпадает с дневной поверхностью почвы лишь при высокой влажности последней. По мере подсыхания верхних слоев, поверхность испарения уходит в глубь почвы. Скорость испарения влаги из всей почвенной толщи определяется, с одной стороны, скоростью прохождения водяного пара через верхний подсохший слой почвы, а с другой, — скоростью подтока жидкой влаги к поверхности испарения из толщи почвы, лежащей глубже этой поверхности. Скорость же этого подтока зависит от влагопроводности почвы, которая обусловлена величиной ее влажности.

Можно принять, что при влажности почвы, превышающей величину наибольшей влагоемкости (НВ), фи-

* Впервые коэффициент увлажнения был применен еще в 1904 году Высоцким по мысли Докучаева

зическое испарение с поверхности почвы равно испаряемости, т. е. $E=E_0$. Это соответствует наличию в почве свободной гравитационной влаги.

Если влажность почвы ниже величины соответствующей НВ, то испарение ниже испаряемости — $E < E_0$, так как скорость подтока жидкой влаги к поверхности почвы, при отсутствии свободной гравитационной влаги, оказывается недостаточной для компенсации испаряющейся влаги. В процессе испарения наступает вторая стадия: с уменьшением в процессе испарения влажности почвы падает и ее влагопроводность, в силу чего скорость испарения тоже продолжает уменьшаться.

От чего зависит скорость испарения во второй стадии и где лежит нижняя граница последней?

Нижней границей второй стадии является момент, когда влажность почвы опускается до влажности разрыва капиллярной связи (ВРК). Что же касается скорости испарения, то она примерно пропорциональна разности между влажностью почвы и влажностью разрыва капиллярной связи, т. е. пропорциональна количеству влаги, содержащемуся в почве сверх величины ВРК. Как только влажность почвы снизится до величины ВРК, передвижение жидкой влаги к поверхности испарения почти прекращается и наступает третья стадия в процессе испарения — стадия иссушения почвенной толщи, в процессе которой влага в почве передвигается очень медленно и лишь в парообразном состоянии.

Следует пояснить, что если иметь в виду всю толщу почвы, то резкой границы между окончанием второй стадии и началом третьей провести нельзя. Обычно, прежде чем закончится вторая стадия, на поверхности почвы уже образуется сухой слой с влажностью ниже ВРК, а поверхность испарения отступает вглубь. Следовательно, в почвенной толще в целом эти стадии налагаются друг на друга. Кроме того, смена стадий зависит от механического состава почвы и ее структурного состояния.

В почвах песчаных, где влага при влажности, равной НВ, находится в форме стыковой влаги, вторая стадия испарения выпадает вообще, т. е. влажность, соответствующая НВ, является не только верхней, но и нижней границей второй стадии. При малейшем понижении влажности за пределы НВ подвешенная влага

теряет способность к передвижению в жидкой форме, почва начинает высыхать сверху вниз и испарение замедляется.

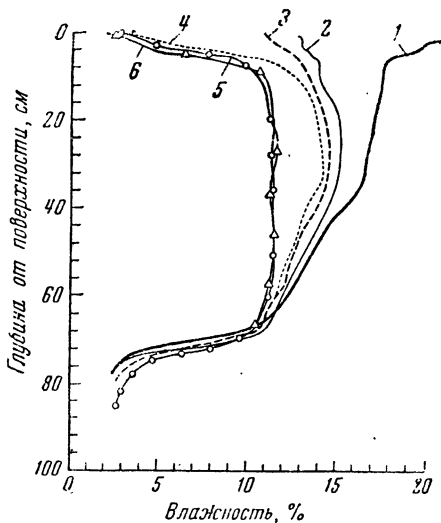


Рис. 7. Изменение распределения подвешенной влаги в процессе испарения в легком пылевом суглинке

1—исходное распределение, 2—через один день после начала испарения, 3—через два дня, 4—через пять дней, 5—через десять дней, 6—через двадцать дней

Иначе идет процесс испарения в легких пылеватых суглинках (рис. 7). Суглинок в этом опыте был промочен не насквозь — так, чтобы влага в нем находилась только в форме подвешенной и исходная влажность равнялась НВ. В течение первых десяти дней содержание влаги непрерывно убывало во всей промоченной толще (кривые 1—5). Между 10 и 20 днями опыта (кривые 5 и 6) содержание влаги в промоченной толще не менялось, и лишь незначительно опустилась вглубь поверхность испарения. Следовательно, при влажности, установившейся к концу первых 10 дней, равной 11%, скорость передвижения влаги приблизилась к нулю. Эта влажность соответствует влажности разрыва капиллярной связи (ВРК).

В структурном черноземе наблюдается та же картина, что и в пылеватом суглинке, но ВРК достигает примерно 33% от веса почвы при НВ, равной 36%.

Существенное влияние на скорость испарения на этой стадии оказывает агрегатное состояние поверхностного слоя почвы. Опыты показали, что наименьшая потеря влаги наблюдалась при размере агрегатов, составляющих поверхностный слой почвы, 0,25—3 мм. Уменьшение и увеличение размера агрегатов вызывало увеличение скорости испарения: увеличение размера агрегатов облегчало проветривание почвы, а уменьшение — облегчало подтягивание влаги к поверхности.

Десукция почвенной влаги растениями

Иссушение почвы растениями — процесс десукции — количественно почти равен транспирации влаги растениями. В какой зависимости находится потребление влаги растениями от климатических условий? Ответ на этот вопрос мы находим в работах А. М. Алпатьева. Важнейшая закономерность, которую он установил, заключается в том, что при достаточно высокой влажности почвы потребление влаги сельскохозяйственными растениями, обеспеченными необходимым количеством питательных веществ, приблизительно равно величине испаряемости. Эта закономерность оправдывается полностью в лесной зоне, т. е. в зоне достаточного увлажнения, где испаряемость всегда меньше суммы осадков и высокая влажность почвы естественно поддерживается на высоком уровне.

В зоне недостаточного увлажнения, при естественном водном режиме, т. е. при увлажнении только за счет осадков, не обеспечивающих высокой влажности почвы в течение всего вегетационного периода, отношение $\frac{E}{E_0}$ оказывается значительно ниже единицы

Поэтому при естественном увлажнении даже при высокой обеспеченности минеральными веществами в этой зоне нельзя получить высокий урожай.

Если в этой же зоне растения выращиваются в условиях орошения, обеспечивающего высокую влажность почвы, то отношение расхода влаги растением к величине испаряемости приближается к единице.

Такой уровень обеспеченности влагой при условии высокой обеспеченности питательными веществами позволяет получать максимальные урожаи.

Можно сделать вывод, что при поддержании влажности почвы на достаточно высоком уровне, хорошо развитый, обеспеченный питательными веществами растительный покров всегда расходует влагу в количестве, близком к испаряемости, т. е. расход определяется климатическими факторами и в первую очередь радиационным балансом. Следовательно, испаряемость можно считать пределом величины десукции влаги из почвы, покрытой растительным покровом, при условии достаточно высокой влажности почвы.

Спрашивается: какова же эта достаточно высокая влажность почвы, которая позволяет распространять на процесс десукции только что сделанный вывод? Ответ на этот вопрос дают многочисленные исследования оптимальной влажности произрастания растений в полевых условиях. Критерием оптимальности в этих исследованиях служила величина урожая. С ее помощью было установлено, что оптимальная влажность лежит в пределах 65—80% от наименьшей влагоемкости (НВ), чаще составляя 70—75% от этой величины. Для овощных растений оптимальная влажность обычно немного выше — 75—80% от НВ, а для зерновых культур — 65—75%. В почвах легкого механического состава эта величина несколько ниже, чем в почвах тяжелых. При снижении влажности ниже этих величин урожай существенно понижается, что указывает на уменьшение доступности влаги. Отсюда возникает представление о «влажности замедления роста растений» как о какой-то переломной величине влажности почвы, при которой начинает заметно снижаться доступность влаги для растений и которая равна примерно двум третям или трем четвертям от величины НВ. Выше мы видели, что примерно такой же доле от величины НВ равна и влажность разрыва капиллярной связи. Это совпадение не случайно; оно объясняется тем, что при указанной величине влажности резко понижается влагопроводность почвы и подвижность почвенной влаги, в силу чего уменьшается и ее доступность для растений, а следовательно, и расход на транспирацию. При понижении влажности почвы за пределы влажности замедления

роста (влажности разрыва капиллярной связи) скорость испарения заметно уменьшается, все больше отклоняясь от величины испаряемости, и определяется не столько климатическими факторами, сколько свойствами почвы и величиной ее влажности.

В связи со сказанным, интересно расчленить физическое испарение и транспирацию, так как из этих двух процессов только второй представляет собой продуктивный расход влаги. Общая закономерность, управляющая соотношением этих двух процессов, заключается в том, что с развитием растительного покрова, а с ним и затенения почвы, и по мере иссушения ее верхних слоев скорость физического испарения влаги из почвы постепенно падает.

В целом расход на физическое испарение может составлять значительную долю (до 50%) суммарного испарения. Из этого следует, что в борьбе с расходом влаги на физическое испарение мы имеем огромный резерв повышения производительности наших полей в зоне недостаточного увлажнения. Однако способы этой борьбы пока еще очень не совершенны.

Рассматривая вопрос о транспирации, мы имели в виду главным образом посевы культурных растений и вообще травянистую растительность. Сказанное целиком может быть отнесено и к древесной растительности.

В заключение настоящего раздела остановимся на вопросе о влиянии вида растений на величину десукции влаги из почвы.

В зоне недостаточного увлажнения величина транспирации различными видами растений определяется главным образом продолжительностью вегетации того или иного вида. Средний расход за сутки у разных культур почти одинаков. Поэтому суммарный расход влаги за весь вегетационный период пропорционален продолжительности последнего.

Что касается зон недостаточного увлажнения, то суммарный расход влаги из почвенного запаса под различными культурами в этих районах обычно бывает одинаковым и равняется исходной величине весеннего запаса доступной влаги, причем корневыми системами охватывается весь промачиваемый слой почвы.

Наиболее ярко влияние различных видов растений на величину десукции может выявляться в зоне недостаточ-

ного увлажнения на почвах со сквозным весенним промачиванием, где растения, увеличивая глубину проникновения корней, могут повышать свою влагообеспеченность.

В табл. 3 мы приводим данные, относящиеся к темноцветной почве большой впадины в Прикаспийской полупустыне. Эта почва в год наблюдений была промочена весной насквозь

Таблица 3

Расход влаги из весеннего почвенного запаса за вегетационный период под разной растительностью, 1957 год

Растительность	Мощность кор необитаемого слоя, см	Расход влаги, мм
Чистый посев пшеницы	150	160
» » сорго	180	170
» » костра	220	180
» » люцерны	320	260
Естественный злаково-разнотравный фитоценоз	300	200
Чистая культура вяза мелколистного .	400	670

Из таблицы мы видим, что злаки — пшеница, сорго, костер — использовали лишь 160—180 мм, причем глубина проникновения их корней варьировала от 150 до 220 см. Корни люцерны проникли на глубину 320 см, и растения израсходовали 260 мм влаги. Естественная злаковоразнотравная растительность с многоярусной корневой системой достигла 300 см, израсходовав 200 мм. И только корни древесного насаждения углубились на 4 м, внедряясь в капиллярную кайму, благодаря чему насаждение смогло израсходовать 670 мм.

Этот пример показывает, что каждому виду свойственна определенная глубина проникновения корней в почву, которая является его биологической особенностью. За этот предел корни не углубляются даже в годы с малым увлажнением, несмотря на то, что испаряемость значительно превышает потребность растения во влаге и что дальнейшее углубление корней позволило бы использовать дополнительные ресурсы влаги. В то же время существуют растения, которые в этих же условиях развивают гораздо более глубокие корни и используют гравитационную влагу из глубоких слоев, причем суммар-

ный расход в этом случае приближается к величине испаряемости.

Таким образом, биологические особенности каждого вида растений являются самостоятельным фактором водного режима почв, роль которого, однако, нередко затушевывается влиянием климатических факторов.

Почвенный сток

Влага, поступившая в результате инфильтрации в почву, просачивается далее вглубь. Если почвенная толща более или менее однородна по механическому составу, не слоиста, то и промачивание ее происходит тоже довольно равномерно. Но в профиле почвы нередко встречаются слои более тяжелые по механическому составу, обладающие пониженной водопроницаемостью. Эти слои могут быть чисто почвенного происхождения (иллювиальные горизонты подзолистых почв, солонцовые горизонты солонцов, горизонты оглинения в разных почвах и т. д.); в других случаях они имеют геологическое происхождение и представляют собой особые, более тяжелые по механическому составу слои рыхлого наноса, на котором развита почва (случаи образования почв на двучленных или многочленных наносах). Наконец, пониженной или даже нулевой водопроницаемостью обладают мерзлые слои почвы. В условиях суровых зим Сибири, при малой толщине снегового покрова, такие слои оттаивают лишь в начале или середине, или даже в конце лета.

При наличии слоев с пониженной водопроницаемостью влага, просачивающаяся через почвенную толщу, задерживается над мерзлыми слоями; влажность слоя, в котором она накапливается, повышается. При обильном поступлении влаги над трудно проницаемым слоем может появиться свободная гравитационная влага, полностью насыщающая слой, в котором она накопилась, способная стекать по уклону подобно грунтовой воде (см. 2, б).

Почвенный слой, содержащий гравитационную влагу, превращается в водоносный горизонт — в нем возникает почвенный сток. Поскольку вся система, состоящая из водоупорного слоя и водоносного горизонта, целиком вмещается в почвенной толще, воды, находящиеся в этом горизонте, называются почвенными (по аналогии с грунтовыми водами) или почвенной верховодкой.

Вследствие того, что мощность водоносного горизонта и запас почвенной воды, быстро расходуемой путем стока, испарения и десукции, не велики, почвенная верховодка и почвенный сток по большей части представляют собой явления эфемерные. Почвенные воды, будучи образованием чисто почвенным, являются не дополнительным источником увлажнения, а лишь одной из форм почвенной влаги.

Почвенный сток представляет собой явление широко распространенное в природе, в особенности в лесной зоне и в областях с длительной сезонной мерзлотой почвы (Сибирь), в меньшей мере — в лесостепной зоне. Однако изучен он недостаточно.

В качестве примера можно привести среднеподзолистую легко суглинистую почву под сложным ельником. При уклоне поверхности около $0,02^\circ$ средняя скорость почвенного потока в этой почве достигала 70—200 см в сутки в слое до 40 см и 45—100 см в слое 40—60 см. Общий годовой расход влаги при почвенном стоке варьировал в сухие годы от 10 до 20 мм, во влажные — до 150 мм; первый случай наблюдался только весной, а второй и летом при обильных дождях.

Обмен влагой между почвой и грунтом

После того, как влажность всей почвенной толщи в процессе промачивания достигает величины, равной наименьшей влагоемкости, дальнейшее поступление влаги на поверхность почвы вызывает более глубокое промачивание и стекание влаги в грунт.

Если почва развита на мощной толще рыхлого наноса, то на некоторой глубине можно обнаружить насыщенный влагой слой, подстилаемый водоупорным слоем грунта. Слой грунта, заключенный между зеркалом грунтовых вод и водоупорным слоем, называется водоносным горизонтом.

Если водоносный горизонт и находящаяся над ним капиллярная кайма расположены глубоко и целиком находятся в толще грунта, т. е. верхняя граница капиллярной каймы никогда не проникает в почвенную толщу, мы называем содержащиеся в нем воды собственно грунтовыми. Глубокое залегание отнюдь не исключает возможности их питания влагой, просачивающейся через

почвенно-грунтовую толщу. Такие воды при наличии гидравлического напора образуют грунтовый сток.

При менее глубоком залегании грунтовых вод их зеркало, или связанная с ним капиллярная кайма, могут периодически подниматься (например, вследствие инфильтрации атмосферных осадков), входить в почвенный слой

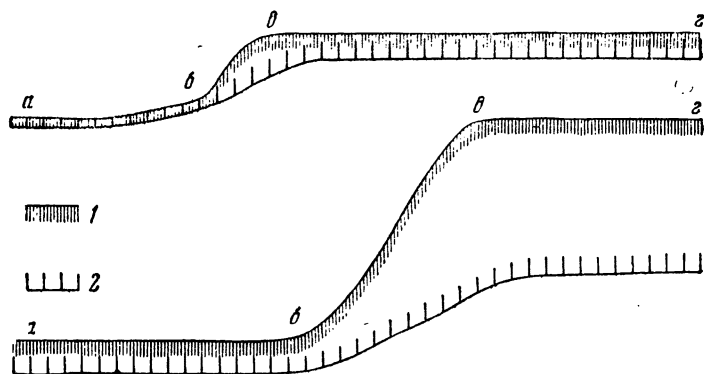


Рис. 8. Схематическое изображение автохтонных (вверху) и аллохтонных (внизу) грунтовых вод

аа—водораздел, аб—терраса. 1—корнеобитаемый слой, 2—зеркало грунтовых вод и капиллярная кайма

и удерживаться в нем в течение длительного промежутка времени. Пребывание зеркала грунтовых вод в почвенной толще существенно отражается как на их составе, скорости, характере и направлении их передвижения, так и на всем их режиме. Поэтому такие воды мы выделяем в особую категорию и называем их почвенно-грунтовыми.

Почвенно-грунтовые воды под действием гидравлического напора могут, подобно грунтовым водам, двигаться в боковом направлении, образуя почвенно-грунтовый сток. Верхний слой этого потока,двигающийся в пределах нижней части почвенной толщи, участвует в почвенном стоке; нижний слой того же потока участвует в грунтовом стоке. Почвенно-грунтовые воды могут иметь двоякое происхождение, что показано на рис. 8. Первый случай изображен вверху. Он имеет место в условиях, которые уменьшают скорость оттока грунтовых вод: равнинность

местности, отсутствие дренирующей эрозионной сети, горизонтальное залегание и небольшая глубина водонепроницаемого слоя. Зеркало грунтовых вод, возникающее вследствие инфильтрации в почву атмосферных осадков, может приближаться в этих условиях к дневной поверхности.

Близость почвенно-грунтовых вод к дневной поверхности облегчает проникновение в них влаги атмосферных осадков при концентрированном ее поступлении (снеготаяние, обильные ливни и т. д.) В этом случае почвенно-грунтовые воды образуются в самой почве или непосредственно под ней за счет местной инфильтрации и представляют собою одну из форм почвенной влаги. Поэтому такие воды мы называем автохтонными.

Эти воды не могут быть дополнительным источником увлажнения для данной почвы, так как они представляют собой лишь преобразованную влагу атмосферных осадков. Однако при сравнении почв, получающих одинаковое количество осадков, влагообеспеченность растений на почве, грунтовые воды которой залегают неглубоко, выше, чем в случае глубокого залегания, так как в последнем случае часть влаги атмосферных осадков уходит за пределы почвенной толщи и, следовательно, теряется для растений.

Другой случай изображен на том же рис. 8 внизу. Почва расположена на пониженной поверхности *аб* — на террасе, шлейфе склона и т. д. Здесь почвенно-грунтовые воды находятся тоже неглубоко, их зеркало или капиллярная кайма входят периодически в почвенную толщу. Инфильтрирующаяся влага атмосферных осадков поступает в почвенно-грунтовые воды. Но, кроме осадков, эти воды имеют и другой источник питания — грунтовые воды, притекающие из под возвышенного участка *вг* — плато или более высокой террасы. Почвенно-грунтовые воды, имеющие дополнительное грунтовое питание, мы называем аллохтонными. Они, несомненно, создают дополнительный источник увлажнения для данной почвы.

Если в первом случае расход почвенно-грунтовых вод на испарение и десукцию никак не компенсируется, вызывая лишь понижение их уровня и постепенное замедление расхода, то во втором случае расход в той или иной мере компенсируется притоком грунтовых вод. Это обстоятельство повышает влагообеспеченность растений и от-

ражается на почвообразовании. Режим влажности в этом случае обладает большей устойчивостью. Кроме того, аллохтонные воды всегда более или менее минерализованы. В результате испарения почвенно-грунтовых вод соли накапливаются в почве, почва засоляется. Веществами, засоляющими почву, могут быть соединения железа, бикарбонат кальция, хлориды и сульфаты кальция, магния и натрия — в зависимости от состава питающих грунтовых вод.

Степень участия в почвенном влагообороте и в почвообразовании грунтовых вод во втором случае может быть различной и зависит главным образом от климатических условий. Влага грунтовых вод вступает в почвенный профиль снизу, из грунта. На своем пути она встречает инфильтрирующуюся сверху влагу атмосферных осадков. В областях, где испаряемость ниже, чем сумма осадков, влага грунтовых вод постоянно оттесняется вниз влагой, инфильтрирующейся сверху. Она проникает в почву лишь в периоды, лишенные осадков, смешивается с остальной почвенной влагой, образуя аллохтонные почвенно-грунтовые воды. Следовательно, в таких климатических условиях грунтовые воды служат своеобразным водупором для инфильтрирующейся сверху влаги осадков и вызывают ее застой и сопряженное с ними заболачивание или способствуют возникновению и поддержанию почвенного стока, если для этого имеются благоприятные условия в отношении рельефа.

В тех же областях, где испаряемость превышает количество осадков, грунтовые воды, поступая в почву, создают в ней длительно существующий восходящий ток влаги, несущей в себе соли. Восходящий поток влаги поддерживается высокой испаряемостью. Он может прерываться и даже сменяться нисходящим током лишь в те короткие периоды, когда происходит более или менее концентрированное поступление влаги на поверхность почвы в количествах, компенсирующих ее расход на испарение и десукцию растительным покровом. Таким образом, доля участия грунтовых вод в формировании аллохтонных почвенно-грунтовых вод в этом случае гораздо больше. Влага восходящего потока при наличии хорошо развитого растительного покрова в большей части перехватывается корнями растений на нижней границе корнеобитаемого слоя. Здесь происходит и разгрузка по-

тока восходящей влаги от солей, которые накапливаются в почве на ее нижней границе. Влага, освобожденная от солей, поглощается корнями растений, а затем транспирируется в атмосферу.

При слаборазвитом или нарушенном растительном покрове влага аллохтонных почвенно-грунтовых вод достигает дневной поверхности и испаряется. Содержащиеся в ней соли выпадают в поверхностных слоях почвы. Этому способствуют засушливость климата, а также высокая минерализация притекающих грунтовых вод, которая благодаря токсическому действию солей подавляет развитие растительности.

Замерзание и оттаивание почвы

Содержащаяся в почве влага в зависимости от температуры почвы может находиться в жидком или твердом состоянии. Внешне это проявляется в замерзании и оттаивании почвы.

Почвенная влага всегда замерзает при температуре ниже 0° . Это объясняется тем, что она содержит в растворенном состоянии те или иные вещества, а точка замерзания растворов тем ниже, чем выше концентрация растворов.

Исследования показали, что основная масса почвенного раствора при слабой его минерализации замерзает в диапазоне от $-0,2^{\circ}$ до -3° , после чего содержание незамерзшей влаги постепенно уменьшается. При одной и той же температуре содержание незамерзшей влаги в оттаивающей почве меньше, чем в замерзающей, т. е. оттаивание запаздывает по отношению к подъему температуры.

При нагревании мерзлой почвы часть почвенной влаги начинает переходить в жидкое состояние задолго до достижения температуры, равной 0° .

Некоторое количество влаги не замерзает при любом понижении температуры. Несомненно, что не замерзает вся прочносвязанная влага и часть рыхлосвязанной влаги. Поэтому в сильно иссушенной почве, даже при значительном понижении температуры, лед не образуется.

Температура почвы регулируется величиной радиационного баланса. Температура ее поверхностных слоев определяется соотношением между количеством радиационной энергии, поглощаемым поверхностью почвы и пре-

вращающимся в тепловую энергию (за вычетом количества, расходуемого на испарение влаги и турбулентный обмен), и количеством тепла, уходящим вследствие теплопроводности почвы в ее глубокие слои. В северном полушарии приход тепла в почву, обусловленный солнечной радиацией, превышает его расход в течение марта—августа. Поэтому в эти месяцы почва нагревается. В течение же сентября—февраля расход тепла преобладает над приходом, в силу чего почва охлаждается.

В области, лежащей к северу от 35° — 38° с. ш., радиационный баланс в зимние месяцы делается отрицательным, т. е. эффективное излучение начинает превышать суммарную радиацию. Это и вызывает снижение температуры почвы сначала до нуля и ниже и, наконец, ее замерзание.

Глубина и скорость промерзания почвы в широкой степени зависит от ее влажности. С повышением влажности почвы ее теплопроводность, а следовательно, и скорость промерзания сначала увеличиваются, но при дальнейшем увеличении влажности, вследствие увеличения теплоемкости почвы, начинают уменьшаться. Сильное отопляющее действие на почву оказывают грунтовые воды, залегающие близко к дневной поверхности, благодаря высокой, по сравнению с твердой частью почвы, теплоемкости воды.

Охлаждение распространяется в почвенной толще от поверхности почвы вглубь. Величина излучения, от которой и зависит скорость охлаждения, находится в тесной зависимости от состояния поверхности почвы. Более сильно излучает обнаженная поверхность почвы, медленнее — покрытая растительностью. Но самым важным фактором, снижающим излучение зимой, является снег, который уменьшает отдачу тепла из почвы в атмосферу, так как содержит много воздуха и обладает в силу этого малой теплопроводностью. Поэтому снежный покров по мере нарастания его мощности замедляет охлаждение почвы и ее промерзание.

Соотношением между температурой воздуха и мощностью снегового покрова определяется глубина промерзания почвы и длительность сезонной мерзлоты на больших территориях. На Европейской части СССР мощность снегового покрова возрастает с юго-запада на северо-восток. Но в этом же направлении снижаются и

температуры воздуха зимой, что имеет большое значение. Если на крайнем северо-востоке длительность промерзания доходит до 210 дней, а глубина — до 1 м, то в центре Европейской части Союза длительность снижается до 150 дней, а глубина — до 50—75 см. На юге и юго-западе устойчивое промерзание вообще отсутствует.

В течение зимы наибольшее охлаждение почвы наблюдается в феврале, после чего температура повышается за счет притока тепла от нагревающегося воздуха и из более теплых слоев почвенно-грунтовой толщи, лежащих глубже. Однако при наличии мощного снегового покрова сокращение мерзлого слоя вследствие нагревания снизу может начаться и ранее. Зимой 1924/25 г. Н. А. Качинский наблюдал начало оттаивания почвы снизу уже в декабре (рис. 9). С поверхности почва может начать оттаивать лишь после схода снега.

Благодаря тому, что нагревание почвы может идти как сверху, так и снизу, существуют четыре типа оттаивания почвы. Первый тип связан с наличием мощного снежного покрова и неглубоким промерзанием почвы. В этом случае оттаивание почвы идет снизу за счет тепла, содержащегося в глубоких слоях почвенно-грунтовой толщи. Почва оттаивает раньше, чем сойдет снег, и мерзлая прослойка исчезает у самой поверхности почвы (рис. 9; залежь 1923/24 г. и лес 1924/25 г.).

Второй тип оттаивания наблюдается при тонком снежном покрове и глубоком промерзании. Оттаивание снизу имеет место и в этом случае, но оно не успевает закончиться до схода снега, после чего почва начинает оттаивать и сверху. Мерзлая прослойка исчезает на некоторой глубине от поверхности (залежь 1924/25 г. и 1925/26 г.)

Третий тип характеризуется тем, что почва оттаивает только с поверхности. Этот тип распространен в областях, граничащих с зоной вечной мерзлоты. Промерзание почвы достигает наибольшей глубины в январе — марте. Оттаивание начинается в марте — апреле и заканчивается в мае или июне, причем мерзлая прослойка исчезает на максимальной глубине промерзания.

Четвертый тип оттаивания характерен для областей распространения вечной мерзлоты. Здесь оттаивание начинается тоже сверху и постепенно распространяется вглубь, но мерзлый слой не исчезает никогда. Осенью за-

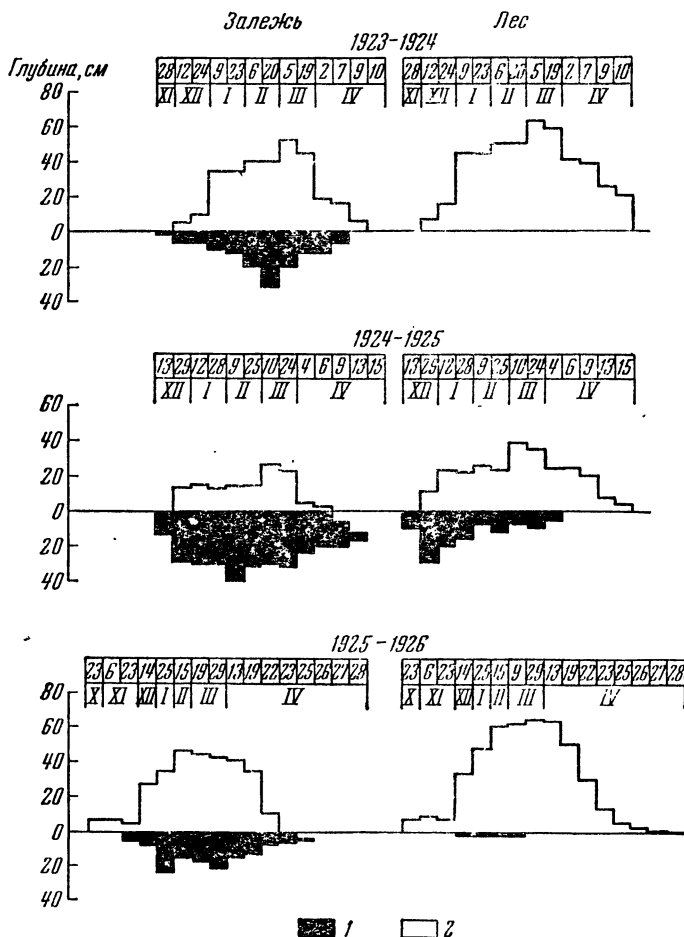


Рис. 9. Снеговой покров. Замерзание и оттаивание почвы под залежью и лесом по Качинскому

1—мерзлая почва, 2—снеговой покров

мерзание начинается сверху, но нередко сокращение мощности талого слоя наблюдается и снизу за счет распространения холода из вечно мерзлого слоя, если его температура значительно ниже нуля.

Замерзание оказывает большое влияние на режим влажности и другие элементы водного режима почвы.

Очень важный момент — влияние замерзания почвы на ее водопроницаемость. Заполнение почвенных пор льдом снижает водопроницаемость почвы. Степень этого снижения всецело зависит от влажности почвы. Если почва до замерзания была сухой, ее водопроницаемость меняется мало. Если же она была насыщена влагой, ее водопроницаемость снижается до нуля.

Поэтому в зоне подзолистых почв, где почва под зиму уходит сильно увлажненной (влажность нередко превышает наименьшую влагоемкость), она после промерзания теряет водопроницаемость полностью. В зоне лесостепи, где осеннее увлажнение может быть очень различным, почвы могут либо полностью терять свою водопроницаемость, либо, наоборот, после сухой осени полностью ее сохранять. В степной и более южных зонах почвы с осени, как правило, увлажняются слабо, в силу чего даже при глубоком промерзании сохраняют свою водопроницаемость. Однако и здесь после влажной осени водопроницаемость может снизиться до нуля.

На водопроницаемость мерзлой почвы влияет и режим ее оттаивания. Оценивая с этой точки зрения установленные выше четыре типа оттаивания, мы видим, что при оттаивании почвы по первому типу (полностью снизу) водопроницаемость почвы целиком восстанавливается к началу снеготаяния и количество талых вод, которое может поглотиться, ни в какой мере не зависит от промерзания.

При оттаивании по второму типу, когда мерзлая прослойка исчезает на той или иной глубине от поверхности, почва до конца снеготаяния остается мерзлой и ее водопроницаемость всецело определяется ее влажностью. Количество впитывающихся в почву талых вод в этом случае может варьировать в очень широких пределах — от 0 до 100 %.

Именно в этих пределах, как мы видели выше, и варьирует коэффициент поверхностного стока в Подмосковье при средней его величине 51 %.

Примерно такие же условия весенней инфильтрации создаются и при оттаивании почвы по третьему типу. В этом случае погашение мерзлой прослойки на большой глубине происходит со значительным опозданием, как это наблюдается нередко в Сибири. В начале или даже в середине лета эта прослойка может играть роль

временного водоупора, над которым образуется временная надмерзлотная верховодка, исчезающая после стаивания мерзлой прослойки.

Наконец, при оттаивании почвы по четвертому типу — при наличии вечной мерзлоты — водопроницаемость почвы всецело определяется ее влажностью. В этом случае нередко образуется надмерзлотная верховодка, которая, в отличие от предыдущего случая, может исчезнуть только в результате испарения или десукции влаги из почвы растительным покровом.

С зимним замерзанием почвы сопряжено восходящее передвижение влаги из нижних горизонтов почвы в поверхностные. Это явление наблюдалось многими исследователями в разных зонах и имеет, несомненно, широкое распространение. Интенсивность такого зимнего передвижения влаги зависит главным образом от влажности почвы. Если эта влажность невелика — ниже величины наименьшей влагоемкости, то зимнее передвижение влаги бывает выражено слабо, и количество накапливающейся за счет этого процесса влаги измеряется величинами 10—15 мм за зиму.

При высокой влажности почвы, превышающей наименьшую влагоемкость, это явление бывает очень интенсивным, причем количество влаги, накопившейся в верхних слоях почвы может достигать многих десятков миллиметров, а влажность превосходит величину полевой влагоемкости вследствие образования в почве прослоек льда.

В связи с зависимостью рассматриваемого явления от влажности почвы его интенсивность уменьшается в пределах Европейской части СССР с северо-запада на юго-восток. Это определяется тем, что в этом направлении уменьшаются и осенние запасы влаги и интенсивность ее накопления в течение зимы. Зимнее восходящее передвижение почвенной влаги может совершаться в разном ее состоянии. В парообразном состоянии это движение осуществляется только в степной и более южных зонах при влажности значительно более низкой, чем наименьшая влагоемкость. Если же влажность выше величины влажности разрыва капиллярной связи и наименьшей влагоемкости, влага передвигается в жидком состоянии.

Что касается вопроса о природе сил, под влиянием которых происходит зимнее передвижение влаги, то в

настоящее время наиболее распространена точка зрения, согласно которой основную роль передвижения играют сорбционные силы.

Передвижение влаги в почве

В заключение главы об элементах водного режима почв надлежит рассмотреть вопрос о закономерностях, управляющих передвижением влаги в почве. Этому вопроса мы неоднократно касались при рассмотрении других свойств почвы, поэтому остается только обобщить все изложенное о закономерностях передвижения почвенной влаги.

Мы знаем, что влага в почве находится под влиянием силы тяжести и сил капиллярных, сорбционных и осмотических. Эти силы и вызывают передвижение влаги в почве. Для того, чтобы передвижение влаги от одной точки почвенной толщи к другой могло осуществиться, необходимо, чтобы между ними возникла разность всасывающих давлений, создаваемых этими силами. Скорость передвижения влаги зависит еще и от величины влагопроводности почвы. В общем виде скорость передвижения влаги может быть выражена формулой:

$$V = C \frac{P_1 - P_2}{l},$$

где V — скорость передвижения влаги в почве,

C — влагопроводность почвы,

$P_1 - P_2$ — разность величин всасывающих давлений,

l — расстояние между точками,

$\frac{P_1 - P_2}{l}$ — градиент давления.

Формула эта достаточно проста, и определение скорости передвижения влаги, казалось бы, особого труда не представляет. На самом деле это не так. Дело в том, что величина влагопроводности находится в прямой, но не пропорциональной зависимости от влажности почвы. А поскольку влажность почвы в результате передвижения влаги и других явлений постоянно изменяется, то одновременно изменяется и влагопроводность, вследствие чего количественная зависимость очень сложна. Поэтому мы ограничимся рассмотрением вопроса с качественной стороны.

В качественно различных интервалах величин влажности передвижение влаги совершается под влиянием сил различной природы. При высокой влажности, превышающей наименьшую влагоемкость, передвижение происходит под влиянием силы тяжести, с которой в этом интервале всегда сочетаются силы капиллярной природы. Передвижение влаги может совершаться в вертикальном нисходящем направлении (просачивающаяся влага), в вертикальном восходящем направлении (капиллярная поднимающаяся влага) и в боковом (поток грунтовых, почвенно-грунтовых или почвенных вод, охватывающий соответствующие водоносные горизонты и расположенную над ними капиллярную кайму). Величина влагопроводности в этом интервале очень велика и достигает наибольшей величины при полном насыщении почвы. Почвенная влага во всем этом интервале способна передавать гидравлическое давление.

Следующий интервал влажности — интервал от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капиллярной связи. В почве, влажность которой не превышает НВ, влага теряет способность стекать под влиянием силы тяжести. Это доказывается тем, что в природе мы находим многометровые почвенно-грунтовые толщи, в которых после происшедшего однажды сквозного промачивания влажность годами продолжает сохранять величину, равную НВ. Гидравлическое давление через такие толщи не передается. Влагопроводность в этом интервале несколько ниже, чем в первом. В передвижении влаги главную роль играют сорбционные силы, которые в отдельных участках почвы сочетаются с силами капиллярными. Во всяком случае влага в этом интервале может довольно быстро подтягиваться к точке ее расхода (испарения с поверхности почвы или отсоса корнем).

Верхней границей третьего интервала является влажность разрыва капиллярной связи. Что касается его нижней границы, то ее из-за отсутствия достаточных данных точно установить нельзя. Она лежит между влажностью завядания и максимальной адсорбционной влагоемкостью, скорее всего около величины максимальной гигроскопичности. Вся влага в этом интервале относится, по-видимому, к категории прочносвязанной и может передвигаться лишь под влиянием сорбционных сил — от частичек с более толстой пленкой к частичкам с более тон-

кой пленкой. Влагопроводность в этом интервале мала и быстро падает с уменьшением влажности. Вследствие этого скорость передвижения влаги тоже очень мала, хотя градиенты сорбционных сил здесь могут быть очень большими.

Верхняя граница четвертого интервала влажности соответствует нижней границе третьего, т. е. лежит около величины максимальной гигроскопичности, а нижняя равна нулю. Влагопроводность в этом интервале может считаться равной нулю. Передвижения влаги в жидкой форме в этом интервале не происходит, а влага может передвигаться только в форме пара путем диффузии от точек с большей абсолютной упругостью пара к точкам с меньшей абсолютной упругостью. Абсолютная упругость водяного пара в этом интервале зависит от влажности почвы и от температуры.

Передвижение влаги в парообразной форме может происходить и в остальных интервалах: при влажности, превышающей максимальную гигроскопичность, почвенный воздух насыщен водяным паром, вследствие чего его абсолютная упругость всецело зависит от температуры почвы.

Передвижение водяного пара путем диффузии происходит в направлении падения температуры, т. е. от слоев почвы более теплых к слоям более холодным. Наибольшее значение это передвижение может иметь во втором и третьем интервалах влажности. В первом интервале его значение меньше вследствие того, что при такой высокой влажности объем пор, свободных от влаги, через которые может двигаться водяной пар, слишком мал.

Так как при влажности почвы, превышающей максимальную гигроскопичность, передвижение водяного пара зависит от направления градиента температуры, то направление его передвижения меняется от сезона к сезону и от дня к ночи. В дневные часы, когда поверхность почвы имеет наиболее высокую температуру, водяной пар передвигается вниз. В ночные часы, когда поверхность почвы охлаждается, водяной пар движется в восходящем направлении. Суточные изменения направления передвижения происходят в слое мощностью 50—70 см. Точно так же летом водяной пар движется в нисходящем направлении, а зимой — в восходящем.

В целом количественное значение передвижения влаги в парообразной форме для водного режима почв, по-видимому, невелико.

III. Классификация водных режимов почв

Типы водного режима почв

Водный режим почв представляет собою явление, складывающееся из рассмотренных выше элементарных процессов. Эти элементы водного режима почв зависят от таких факторов и условий, как радиационный баланс, осадки, ветер, влажность, температура воздуха, литологические и гидрогеологические особенности материнских и подстилающих пород, рельеф, растительность и т. д. и, следовательно, значительно изменяются в пространстве и во времени.

Сочетание различных факторов и условий создает различные типы, подтипы и классы водного режима почв. Впервые классификация типов водного режима почв была предложена Г. Н. Высоцким. Эту классификацию он неоднократно уточнял и совершенствовал. В ее основу положены следующие признаки:

- 1) наличие или отсутствие вечно мерзлого слоя в почвенно-грунтовой толще;
- 2) охват годовым влагооборотом только почвенного слоя или всей почвенно-грунтовой толщи до грунтовых вод;
- 3) преобладание в годовом или многолетнем цикле восходящего или нисходящего передвижения влаги в почвенно-грунтовой толще

Схемой Высоцкого, несколько развитой и дополненной, мы пользуемся и теперь, выделяя шесть типов водного режима.

1 Мерзлотный тип возникает в области вечной мерзлоты, где почва в течение теплого периода года от-

таивает лишь на сравнительно небольшую глубину — метр или несколько метров — и под ней сохраняется вечно мерзлый водоупорный слой. При обильном поступлении влаги на поверхность почвы в ее толще создается водоносный горизонт — надмерзлотная верховодка, которая может существовать большую часть вегетационного периода. Годовой влагооборот охватывает только почвенный слой.

2. Промывной тип характерен для тех областей, где годовая сумма осадков выше испаряемости. Почвенно-грунтовая толща ежегодно подвергается сквозному промачиванию до грунтовых вод. Это значит, что некоторая часть влаги атмосферных осадков, поступившей в почву, просачивается через ее толщу и стекает грунтовым или почвенным стоком. Годовой влагооборот охватывает ежегодно всю почвенно-грунтовую толщу. Нисходящее передвижение влаги преобладает над восходящим. В областях с более засушливым климатом, где сумма осадков меньше величины испаряемости, тоже может наблюдаться промывной тип водного режима при малой вододерживающей способности почв; этому способствует легкий (песчаный) механический состав. Глубина грунтовых вод при промывном типе водного режима может быть различной, но чаще бывает небольшой.

3. Периодически-промывной тип водного режима возникает в областях, где средняя многолетняя сумма атмосферных осадков примерно равна средней многолетней величине испаряемости. Но в отдельные годы или даже периоды продолжительностью в несколько лет сумма осадков может превысить испаряемость. В такие годы (или периоды) водный режим почв складывается по типу промывного, а в те годы, когда испаряемость превышает сумму осадков, водный режим складывается по типу непромывного. Годовым влагооборотом в сухие периоды охватывается только почвенная толща, а во влажные — вся почвенно-грунтовая толща до грунтовых вод. Преобладание нисходящего передвижения влаги наблюдается во влажные периоды. Грунтовые воды залегают обычно довольно глубоко — за пределами корнеобитаемого слоя.

4. Непромывной тип характерен для тех областей, где сумма осадков всегда существенно меньше величины испаряемости. В почве к осени всегда создается значительный дефицит влажности (т. е. разность между запасом влаги, соответствующим наименьшей влагоемкости, и фактически имеющимся запасом), который не может быть покрыт осенне-зимне-весенней суммой осадков. В силу этого почва промачивается лишь на некоторую глубину, причем под промоченным слоем постоянно сохраняется слой, влажность которого обычно близка к влажности завядания. Существование такого сухого слоя впервые было установлено Высоцким, который назвал его мертвым слоем иссушения или диспульсивным горизонтом. При этом типе водного режима вся инфильтрованная в почву влага целиком возвращается в атмосферу, отчасти в результате испарения, но главным образом — в результате десукции. Годовым влагооборотом охватывается только почвенная толща, в которой, однако, преобладает нисходящее передвижение влаги, так как возврат ее в атмосферу совершается через корни и надземные органы растений. Грунтовые воды при непромывном типе водного режима залегают обычно на глубине многих метров.

5. Десуктивно-выпотной тип возникает там, где сумма осадков существенно меньше величины испаряемости. Такое соотношение создает предпосылку для испарения не только всей суммы осадков, но и некоторого дополнительного количества влаги. Это же условие, как мы видели, характерно и для непромывного типа. Но там никакого дополнительного источника влаги нет, и наоборот в атмосферу испаряется только инфильтрированная в почву влага. Десуктивно-выпотной тип создается при наличии второго условия — не глубоко залегающих грунтовых вод. Их глубина настолько невелика, что верхняя часть капиллярной каймы входит в почвенный слой. Почвенно-грунтовые воды в этом случае аллохтонные, т. е. имеют дополнительное грунтовое питание. Корни растений отсасывают влагу из капиллярной каймы, после чего влага уходит путем транспирации в атмосферу, т. е. грунтовые воды как бы выпотевают через растения в атмосферу. Поэтому этот тип режима и называется десуктивно-выпотным.

Годовым влагооборотом охватывается вся почвенно-грунтовая толща, причем восходящее передвижение влаги преобладает. Аллохтонные почвенно-грунтовые воды бывают, как правило, более или менее минерализованы. Корни растений поглощают лишь часть содержащихся в них солей, так как процесс поглощения влаги и процесс поглощения солей в значительной мере независимы друг от друга. Другая часть солей, часто очень значительная, выпадает из раствора в том слое, где идет поглощение влаги корнями, в результате чего на этой глубине в толще почвы (обычно около нижней ее границы) образуется соленосный горизонт.

6. Выпотной тип водного режима создается при условиях, аналогичных тем, в которых возникает десуктивно-выпотной тип, но при более близком залегании почвенно-грунтовых вод к дневной поверхности и более обильном их грунтовом питании. В этом случае почвенно-грунтовые воды находятся на такой глубине, что их уровень нередко входит в нижнюю часть почвенной толщи, причем верхняя граница капиллярной каймы достигает дневной поверхности. Благодаря тому, что и здесь имеются условия для интенсивного испарения, испаряется значительное количество влаги из грунтовых вод. В отличие от предшествующего типа, влага здесь испаряется не столько растениями, сколько непосредственно физически. Вследствие этого соли, содержащиеся в грунтовых водах, выпадают преимущественно в поверхностном слое почвы. Годовым влагооборотом здесь ежегодно охватывается вся почвенно-грунтовая толща, преобладает восходящее передвижение влаги.

При ознакомлении с типами водного режима очень важно ясно представить себе, что они выделяются по тем явлениям, которые преобладают в годовом или многолетнем цикле. Например, для режима промывного типа характерно количественное преобладание нисходящего передвижения влаги над восходящим, в силу чего и возникает ежегодное промывание почвенно-грунтовой толщи. Но в течение годового цикла в почве, которой присущ этот тип водного режима, может возникать и восходящее передвижение влаги, например в летние периоды, когда почва прогрессивно иссушается. Смена нисходящих и восходящих токов влаги в такой почве может наблюдаться в течение года неоднократно; причем периоды

нисходящего передвижения влаги во всей почвенной толще могут быть очень редкими — только один во время весеннего снеготаяния. Но и в этом случае общее количество влаги, которое просачивается через почвенную толщу насквозь в течение года, всегда будет превышать то количество влаги, которое передвигается в обратном направлении.

Точно так же и при выпотном типе режима: при общем количественном преобладании восходящего передвижения влаги над нисходящим мы наблюдаем чередование периодов то с одним направлением, то с другим.

Подтипы и классы водного режима почв

Дальнейшее подразделение водных режимов почв опирается на два главных признака: источники и виды увлажнения почвы и степень ее увлажнения.

Что касается источников и видов увлажнения почв, то все почвы без исключения пользуются атмосферным увлажнением от выпадающих на их поверхность осадков. Некоторые почвы имеют, кроме того, дополнительное грунтовое питание, являющееся причиной появления аллохтонных почвенно-грунтовых вод. Почвы, находящиеся в депрессиях рельефа или микрорельефа, обычно имеют дополнительное поверхностное увлажнение за счет поступления вод поверхностного стока. Дополнительное поверхностное увлажнение может создаваться и за счет накопления снега у различных препятствий (лесные полосы, опушки и т. д.). Почвы, находящиеся на пойменных террасах, весной увлажняются паводковыми водами.

Сочетаясь друг с другом, эти источники влаги могут создавать следующие виды увлажнения почв:

атмосферное,

грунтово-атмосферное,

атмосферное с дополнительным поверхностным,

грунтово-атмосферное с дополнительным поверхностным,

атмосферное с дополнительным паводковым,

грунтово-атмосферное с дополнительным паводковым.

Эти виды увлажнения будут использованы ниже при выделении подтипов водного режима почв.

Степень влажности почвы, как один из классификационных признаков, должна учитываться качественно, т. е. по признаку появления в почве или в отдельном поч-

венном слое той или иной категории или формы почвенной влаги. Для этого удобно пользоваться шестью качественными градациями (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Характеристика почвенно-гидрологических горизонтов

Пределы влажности	Категории и формы почвенной влаги	Почвенно-гидрологические горизонты
≤ПВ	Свободная гравитационная влага водоносного горизонта	Водоносный горизонт почвенно-грунтовые или грунтовые воды надмерзлотная верховодка почвенная верховодка
от ПВ до НВ	Капиллярно-подпертая свободная гравитационная влага	Капиллярная кайма над почвенно-грунтовыми или грунтовыми водами над надмерзлотной верховодкой над почвенной верховодкой
	Просачивающаяся свободная гравитационная влага	Надкапиллярный горизонт с просачивающейся влагой
	Подперто-подвешенная влага	Горизонт подперто-подвешенной влаги (в нижней части тяжелого наноса, подстилаемого легким)
НВ	Подвешенная влага	Горизонт наименьшего насыщения
от НВ до ВРК	Подвешенная влага	Горизонт слабого десуктивного иссушения
от ВРК до ВЗ	Подвешенная или рыхлосвязанная влага	Горизонт сильного десуктивного иссушения
≤ВЗ	Рыхлосвязанная влага	Горизонт полного десуктивного иссушения

Слои почвы, обладающие влажностью, соответствующей одной из этих градаций, можно рассматривать как почвенно-гидрологические горизонты. В пределах каждого из них абсолютная величина влажности может меняться, сохраняя, однако, свою принадлежность к одной и той же градации или форме.

Почвенно-гидрологические горизонты — временные образования. Увлажнение или иссушение почвы влечет за собой перемещение почвенно-гидрологических горизонтов в почвенной толще и их взаимную смену в одном и том же ее слое.

Возможность возникновения различных почвенно-гидрологических горизонтов и их взаимная смена ограничены, однако, определенными рамками, зависящими от всей совокупности условий, характерных для данного водного

режима. Поэтому для каждого типа почвы можно установить некоторые пределы, в которых может происходить взаимная смена различных почвенно-гидрологических горизонтов в течение года. Этим пределам соответствуют определенные режимы влажности почв.

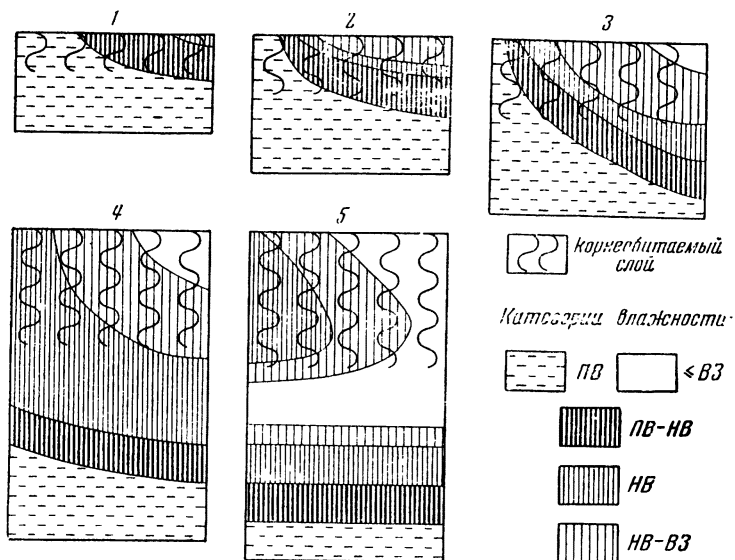


Рис. 10. Изменения влажности почвы в годичном периоде при различных режимах (классах) влажности

1—класс полного насыщения, 2—класс капиллярного насыщения, 3—класс периодического капиллярного насыщения, 4—класс сквозного наименьшего насыщения, 5—класс несквозного наименьшего насыщения

Впервые режимы влажности почв были установлены С. А. Вериго. Дополняя и несколько развивая ее схему и названия, можно выделить пять режимов влажности почв (рис. 10).

В классификационной схеме они называются классами влажности, их можно характеризовать следующим образом.

1. Полное насыщение. Водоносный горизонт (автохтонного или аллохтонного происхождения) в течение большей части вегетационного периода присутствует в почвенном профиле, хотя бы в его нижней половине. Верхняя граница капиллярной каймы, как

правило, у дневной поверхности. Влажность в течение вегетационного периода колеблется в пределах: в верхней половине профиля от ПВ до КВ, в нижней — ПВ.

2. Капиллярное насыщение. Водоносный горизонт (автохтонного или аллохтонного происхождения) иногда появляется в почвенном профиле. Капиллярная кайма в течение вегетационного периода постоянно присутствует в почвенном профиле, хотя бы в его нижней половине. Влажность в течение вегетационного периода колеблется: в верхней половине от КВ (реже от ПВ) до НВ—ВРК (или несколько ниже), а в нижней половине — от ПВ до КВ.

3. Периодическое капиллярное насыщение. Водоносный горизонт может появляться в почвенном профиле, но лишь кратковременно, преимущественно после снеготаяния. Капиллярная кайма нередко появляется в почвенном профиле, преимущественно в его нижней части. Влажность в течение вегетационного периода колеблется: в верхней половине профиля от КВ (реже от ПВ) до ВРК (реже до ВЗ), в нижней половине профиля от КВ (реже от ПВ) до НВ.

4. Сквозное наименьшее насыщение. Почвенный профиль весной промачивается насквозь до влажности, равной НВ. Такое промачивание может повторяться в течение вегетационного периода. Ни водоносный горизонт, ни капиллярная кайма в почвенном профиле не появляются. Влажность в течение вегетационного периода колеблется: в верхней половине профиля от НВ до ВЗ, в нижней половине профиля от НВ до ВРК — ВЗ.

5. Несквозное наименьшее насыщение. Почвенный профиль весной промачивается на некоторую глубину до величины НВ. Под промоченным слоем всегда сохраняется сухой слой различной мощности с влажностью, близкой к ВЗ. Влажность в почвенном профиле в течение вегетационного периода колеблется от НВ до ВЗ.

На рис. 11 изображен круговорот влаги, соответствующий трем наиболее распространенным и наиболее резко отличающимся друг от друга типам водного режима:

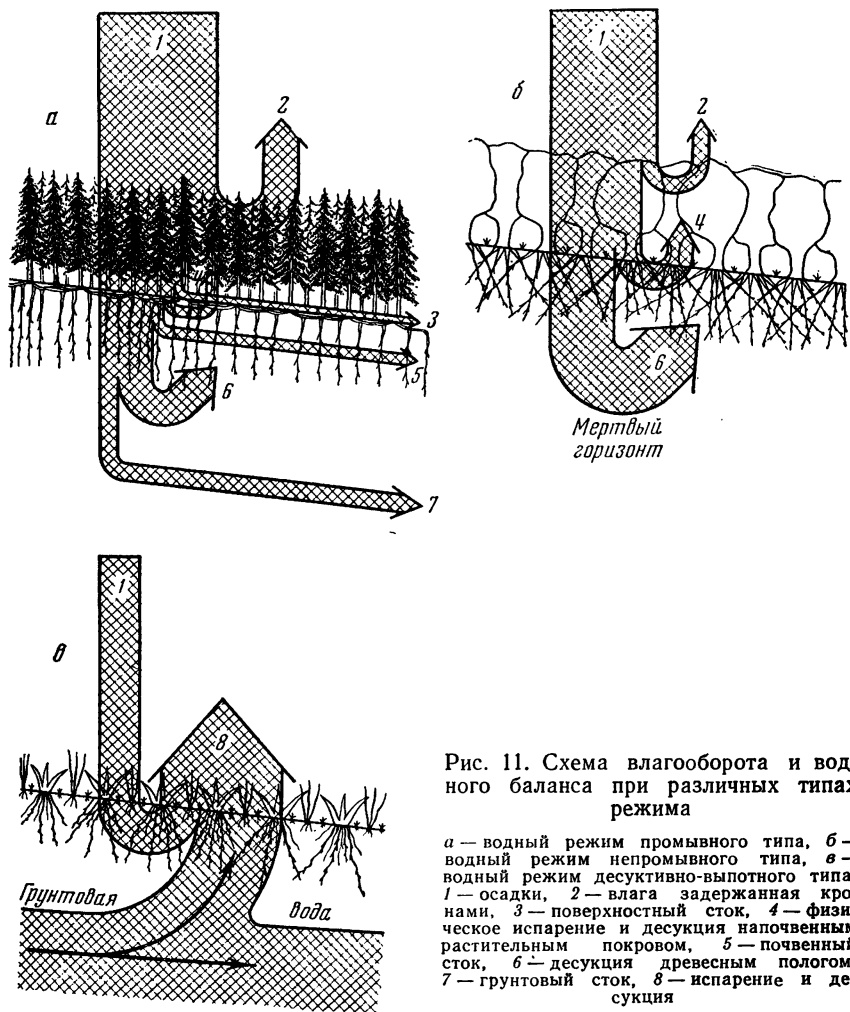


Рис. 11. Схема влагооборота и водного баланса при различных типах режима

а — водный режим промывного типа, б — водный режим непромывного типа, в — водный режим десуктивно-выпотного типа: 1 — осадки, 2 — влага задержанная кронами, 3 — поверхностный сток, 4 — физическое испарение и десукция напочвенным растительным покровом, 5 — почвенный сток, 6 — десукция древесным пологом, 7 — грунтовый сток, 8 — испарение и десукция

промывному, непромывному и десуктивно-выпотному.

Полное наименование водного режима той или иной почвы (см. приложение) должно иметь тройственную форму: тип — подтип — класс. Ввиду того, что такое наи-

менование очень громоздко, для каждого класса предлагается второе название, заключенное в скобки, имеющее как бы ландшафтное звучание. Эти названия выбраны по признаку характерности (но не исключительной принадлежности) данного класса для условий того или иного ландшафта.

Тип и класс водного режима для каждой данной почвы должны устанавливаться на основании анализа многолетних наблюдений. Внутривековые колебания климата могут иметь своим следствием периодическую смену одного класса водного режима другим.

Все сказанное выше относилось к почвам под естественной или культурной растительностью, водный режим которых никакому мелиоративному воздействию не подвергался.

Мелиоративные мероприятия, направленные на коренное улучшение водного режима почв, разделяются на две главные группы: мероприятия осушительные (мелиоративные) и оросительные (иригационные).

Цель мероприятий первой группы — понижение влажности почв, а второй — ее повышение. Эти мероприятия изменяют водный режим, характерный для почвы в ее естественном состоянии. Поэтому возникает вопрос: создаются ли в процессе мелиорации какие-либо новые типы, подтипы и классы водного режима или нет?

Рассмотрим этот вопрос на примере осушительных мероприятий.

При осушке болота уровень почвенно-грунтовых вод понижается путем создания сети дрена. Вследствие опускания уровня вод опускается и капиллярная кайма. В торфяных почвах, у которых водоподъемная способность и, следовательно, мощность капиллярной каймы очень невелики (несколько десятков сантиметров), понижение уровня почвенно-грунтовых вод может иметь своим следствием даже отрыв верхней поверхности капиллярной каймы от дневной поверхности, и опускание ее вглубь. Влияние дрена на положение уровня грунтовых вод и капиллярной каймы схематически изображено на рис. 12.

Все эти явления, изменяя водный режим осушаемой почвы, не создают еще какого-либо принципиально нового режима, который не был бы предусмотрен в полной таблице классификации водных режимов. Если эти ме-

роприятия осуществляются в условиях лесной зоны, то естественный водный режим, относящийся к типу промывного, подтипу с атмосферным питанием и классу полного насыщения (болотный режим), в результате осушки может измениться на полуболотный или, при очень глубокой осушке, на таежный. Однако было бы

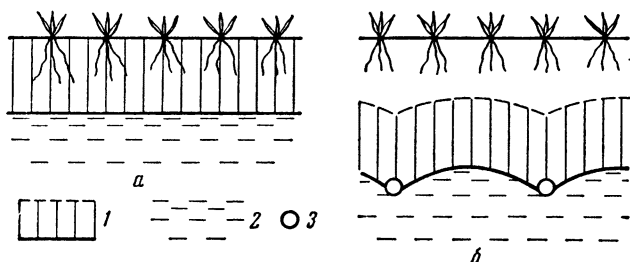


Рис. 12. Влияние дрен на положение зеркала грунтовых вод в капиллярную кайму

a — положение без дрен; *b* — положение с дренами 1 — капиллярная кайма; 2 — водоносный горизонт, 3 — дренаи

неправильно новый мелиоративный водный режим именовать просто соответствующим термином, имеющимся в классификационной таблице и относящимся к почвам с естественным режимом, например полуболотным или таежным.

Дело в том, что естественный режим сопряжен с почвенным профилем определенного характера и строения. Создание же в этом почвенном профиле нового измененного водного режима должно найти отражение в его наименовании. Поэтому следует говорить не просто о полуболотном или таежном режиме, а о дренажном полуболотном или дренажном таежном и т. д. Следовательно, мелиоративные водные режимы должны быть выделены в особую группу. Их классификация пока еще не разработана.

В заключение настоящей главы рассмотрим вопрос о регулировании водного режима почв.

Получение высоких и устойчивых урожаев на любой почве, в любой природной зоне требует высокой влагообеспеченности растений и поддержания влажности почвы на оптимальном уровне. В таких условиях влага может быстро притекать к корням. Это требование

осуществляется в интервале влажности от наименьшей влагоемкости до влажности замедления роста, или влажности разрыва капиллярной связи. При влажности, меньшей чем ВРК, подвижность влаги уменьшается уже настолько сильно, что она не успевает подтекать к корням со скоростью, обеспечивающей полное удовлетворение потребности растений в воде. В результате этого их рост замедляется, а урожай понижается. Подобное явление наблюдается и при избыточном количестве влаги, приближающемся к полной влагоемкости, когда высокая степень заполнения влагой почвенных пор затрудняет обмен газами между почвенным воздухом и атмосферным; это влечет за собой кислородное голодание корней и появление в почве вредных для растений недоокисленных соединений.

Величины влажности почвы, наблюдаемые в природе, часто бывают очень далеки от оптимальных, отклоняясь как в сторону избытка, так и недостатка влаги. Поэтому успешное выращивание сельскохозяйственных культур требует регулирования водного режима — создания в почве режима влажности, наиболее близкого к оптимальному.

Регулирование водного режима почв должно предусматривать применение мероприятий, имеющих прогностические направления. Так, например, на торфяных почвах основным мероприятием является их осушение, т. е. понижение их влажности. Но наряду с этим в некоторых случаях оказывается необходимым и их орошение. Для того, чтобы все эти приемы достигли своей цели, мы должны ясно представлять себе водный режим почвы в целом и ту взаимозависимость, в которой находятся отдельные его элементы. Равным образом мы должны представлять себе и ту связь, которая существует между водным режимом почв и другими сторонами почвенного процесса, так как регулирование водного режима отражается на всем этом процессе в целом. В следующей главе мы остановимся на конкретных приемах его преобразования.

IV. Водный режим почв важнейших типов и его регулирование

Подзолистые и дерново-подзолистые почвы

Условия атмосферного увлажнения в зоне подзолистых почв, характеризующиеся величиной коэффициента увлажнения (КУ), имеют следующие особенности. Средняя многолетняя годовая величина КУ всегда выше единицы (1,2—1,4), что обеспечивает возникновение водного режима промывного типа. Однако в течение четырех летних месяцев (апрель — июль) величина КУ обычно меньше единицы, в связи с чем запас влаги в почве уменьшается. В южной части зоны годовые величины КУ ниже и приближаются к единице, а число летних месяцев с величинами КУ меньше единицы доходит до 5.

Режим почвенно-грунтовых вод отличается большим разнообразием. Для большей части зоны характерно близкое к поверхности залегание автохтонных почвенно-грунтовых вод, зеркало которых в периоды обильного увлажнения — при снеготаянии, во время осенних дождей, а иногда и обильных летних — поднимается в почвенный профиль. Но в южной части зоны постоянный горизонт грунтовых вод залегает глубоко. Иными словами, режим влажности подзолистых почв чаще всего бывает периодически-капиллярным, но может быть и режимом наименьшего насыщения.

Наиболее характерен для подзолистых и дерново-подзолистых почв таежный класс водного режима, относящийся к промывному типу. Годовой цикл водного режима этого класса показан на рис 13.

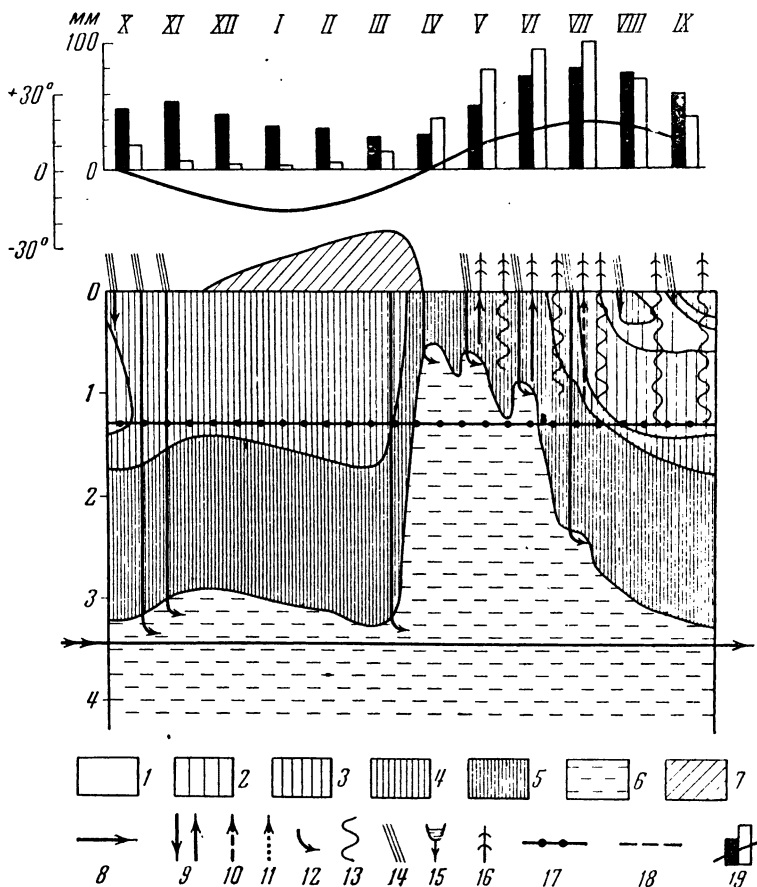


Рис. 13. Водный режим таежного класса. Условные обозначения к рис. 13, 15, 18 и 19

1—влажность ниже ВЗ, 2—влажность от ВЗ до ВРК, 3—влажность от ВРК до НВ, 4—влажность равна НВ, 5—влажность от НВ до ПВ, 6—гладкость равнина ПВ (водоносный горизонт), 7—снег, 8—грунтовый поток, 9—гравитационное просачивание (слева) и капиллярное восходящее передвижение (справа), 10—пленочнокапиллярное передвижение, 11—пленочное передвижение, 12—почвенный или почвенно-грунтовый сток, 13—десикация, 14—жидкие осадки, 15—полив, 16—испарение или транспирация, 17—нижняя граница почвенного профиля, 18—наибольшая глубина промачивания, 19—месячные суммы осадков (слева), месячные суммы испаряемости (справа) и средние месячные температуры воздуха (линия)

Прежде всего поясним, как построен этот рисунок. На вертикальной оси отложены глубины от поверхности в метрах; на горизонтальной оси — календарь гидрологического года, начинающегося с 1 октября. На графике показаны различной штриховкой почвенно-гидрологические горизонты: водоносный, капиллярная кайма, горизонт наименьшего насыщения и т. д. Особыми условными знаками показаны движение почвенно-грунтового потока, просачивание гравитационной влаги, десукция влаги корнями растений, капиллярное поднятие влаги, выпадение атмосферных осадков, испарение, снеговой покров и т. д. Над графиком влажности почвы помещен график, изображающий месячные суммы осадков и величины испаряемости, и годовой ход средних месячных температур. Подобным образом построены графики, характеризующие водные режимы других типов почв, с которыми мы будем знакомиться ниже.

Как видно из рис. 13, гидрологический год начинается с постепенного промачивания почвенно-грунтовой толщи осенними дождями и увеличения ее влажности до величины наименьшей влагоемкости, после чего начинается сквозное промачивание, сопровождаемое поднятием уровня почвенно-грунтовых вод. Период сквозного промачивания и подъема уровня почвенно-грунтовых вод бывает обычно непродолжительным. С наступлением морозов почва начинает промерзать, а на ее поверхности образуется снеговой покров. Промачивание прекращается и уровень почвенно-грунтовых вод падает вследствие их оттока. Вслед за ним опускается и капиллярная кайма.

Весной, во время снеготаяния и последующих дождей, происходит сквозное промачивание почвенно-грунтовой толщи, которое вызывает значительный подъем уровня почвенно-грунтовых вод. Зеркало этих вод входит в почвенный профиль, а капиллярная кайма доходит до дневной поверхности. Благодаря тому, что капиллярная кайма находится у поверхности, дожди, выпадающие в апреле — мае, вызывают периодические подъемы уровня почвенно-грунтовых вод, который, однако, в общем начинает падать. С июня или конца мая это падение делается более быстрым вследствие повышения температур, усиленной вегетации растительности и увеличения расхода влаги на десукцию и испарение. Вместе с

почвенно-грунтовыми водами уходит вглубь и капиллярная кайма: отрывается от дневной поверхности, а затем углубляется под нижнюю границу почвенной толщи. В верхней части почвы обособляется горизонт иссушения, сначала слабого, которое может перейти и в сильное, в зависимости от погодных условий и длительности перерывов без дождей. Пока верхняя граница капиллярной каймы ушла не глубоко, осадки, выпадающие в начале лета, могут вновь вызывать кратковременное сквозное промачивание, немедленно сменяемое иссушением. Иссушение почвы вызывает появление восходящего передвижения влаги из нижней части почвенной толщи в верхнюю, а затем из грунта в нижнюю часть почвенной толщи. Дожди, выпадающие летом, промачивают почвенную толщу не насквозь, а лишь на небольшую глубину. В конце августа — начале сентября почва достигает наибольшего иссушения, которое, однако, до величины влажности завядания обычно не доходит. В сентябре начинается постепенное промачивание почвы. Почвенно-грунтовые воды в это время опускаются на большую глубину.

Таков водный режим подзолистой почвы. Однако в зависимости от погодных условий он может сильно отклоняться от средних величин. В качестве примера, напомним погодные условия вегетационных периодов 1938 и 1939 гг., отличавшихся высокими температурами и отсутствием осадков в течение нескольких недель подряд. В эти периоды верхние слои подзолистых почв иссушались под еловыми лесами до величины влажности завядания и даже максимальной гигроскопичности, в связи с чем началось массовое усыхание ели. Почвенно-грунтовые воды при этом уходят на глубину многих метров. После таких периодов не только осеннее, но даже и весеннее промачивание иногда бывает не сквозным, т. е. сухая прослойка сохраняется в почве до осени, а иногда до весны второго года.

Наоборот, в годы с повышенным атмосферным увлажнением (особенно в летние месяцы) капиллярная кайма в течение всего вегетационного периода удерживается в почвенном профиле. Это способствует тому, что сквозное промачивание возникает многократно и в течение летних месяцев. Каждый раз оно вызывает подъем почвенно-грунтовых вод, которые нередко входят в ниж-

ную часть почвенного профиля, вследствие чего возникает почвенный сток. Восходящего передвижения влаги в такие годы почти не наблюдается. Влажность почвы поддерживается на уровне, близком к наименьшей влагоемкости, а в нижних слоях превышает эту величину.

Аналогичная картина может наблюдаться и в теплые зимы с частыми оттепелями. Почва в такие зимы не промерзает, и после каждой оттепели происходит сквозное промачивание почвы и подъем почвенно-грунтовых вод.

В подзолистых и дерново-подзолистых почвах часто образуется почвенная верховодка, причем водоносный слой составляют горизонты A_1 и A_2 , отличающиеся более легким механическим составом, а водоупором служит тяжелый по механическому составу иллювиальный или глинистый горизонт. Верховодка чаще встречается в почвах тяжелого механического состава, в которых горизонт B обладает малой водопроницаемостью. Но она может возникать и в песчаных подзолах, если горизонт B плотно сцементирован окисью железа. Верховодка обычно возникает весной во время снеготаяния и существует недолго, т. к. расходуется при стекании и испарении. Она может появляться и летом в дождливые годы, а также в теплые зимы.

Характеристика водного режима подзолистых почв относится к северной и средней частям зоны подзолистых почв. В южной ее части грунтовые воды залегают обычно настолько глубоко, что их зеркало и капиллярная кайма остаются в грунте и в почвенном слое не появляются. В остальном водный режим самой почвенной толщи мало отличается от рассмотренного выше, но ее мощность больше (вследствие более глубокого проникновения корней), а влажность в течение вегетационного периода в среднем меньше. Водный режим в этом случае относится к типу промывного, но к классу таежного глубоко-промывного. Сквозное промачивание в этом случае, как правило, наблюдается лишь во время снеготаяния или при выпадении концентрированных дождей. Летнее сквозное промачивание наблюдается редко.

С водным балансом подзолистых почв мы познакомимся на примере среднеподзолистой почвы под сложным ельником Калининской области. Баланс влаги в этой почве дан за три года (табл. 5).

Таблица 5

*Водный баланс среднеподзолистой легкосуглинистой почвы
под сложным ельником (Калининская область)*

Статьи баланса	с 1.XI. 37 по 31.X. 38		с 1.XI.38 по 31.X. 39		с 1.XI. 39 по 31.X. 40	
	мм	%	мм	%	мм	%
Приход						
Осадки	569		438		730	
Приход из грунтовых вод	79		45		31	
Расход						
Задержано кронами . . .	151	22	118	24	148	25
Испарение надпочвенным растительным покровом	31	12	71	14	74	12
Десукция древостоем . .	292	42	197	40	184	30
Сток						
поверхностный	0	0	5	1	6	1
почвенный	165	24	17	3	107	18
грунтовый	0	0	35	18	85	14
Итого в расходе . . .	689	100	493	100	604	100
Изменение запаса . . .	—41	—	—10	—	+157	—

В таблице показано, что в поступлении влаги в почву некоторое значение имеет и подтягивание ее из почвенно-грунтовых вод, которое, однако, по своей величине не превышает 10—12% от суммы осадков. В расходной части баланса первое место от общего расхода занимает десукция древостоем (30—40%), второе — испарение осадков с крон деревьев (22—25%), третье — разные виды стока (22—32%), среди которых главную роль во влажные годы играет почвенный сток, а в сухие — грунтовый. Испарение с поверхности почвы и надпочвенного растительного покрова составляет 12—14%. Если мы исключим из расходной части баланса испарение с крон, как статью не имеющую отношения к почве, то десукция достигнет почти половины от общего расхода.

Существенные изменения в водный режим лесных подзолистых почв вносит вырубка леса. С уничтожением древесного полога из расходной статьи водного баланса исчезает самая крупная статья — расход на десукцию.

Увеличение физического испарения и испарения травянистым, кустарниковым или моховым покровом обычно не компенсирует (особенно в первые годы после вырубки) прекращения десукции древостоем, в силу чего влажность почвы повышается. В северной части лесной зоны повышение влажности часто приводит к заболачиванию и затрудняет лесовозобновления. Однако, как правило, лес все же возобновляется, хотя и медленно, растет и в конце концов усиливающаяся десукция влаги древостоем вызывает разболачивание лесосеки.

Обратимся теперь к водному режиму подзолистых почв под сельскохозяйственными культурами. Зимнее промерзание почвы здесь распространяется на гораздо большую глубину, чем под лесом. Глубина промерзания тем больше, чем меньше мощность снегового покрова. Общий характер режима влажности почвы под сельскохозяйственными культурами тот же, что и под лесом. Отличие заключается в том, что сельскохозяйственные культуры иссушают почву сильнее чем лес, причем наиболее сильно иссушают почву многолетние травы. Под ними общая мощность горизонта иссушения может достигать метра. Озимая пшеница и овес используют влагу до глубины 60—70 см.

Сравнивая расход влаги под лесом и сельскохозяйственными культурами (табл. 6), мы видим, что хотя наибольший общий расход влаги за вегетационный период наблюдается под лесом, но по расходу в сутки лес не отличается существенно от сельскохозяйственных культур; случаи большой величины общего расхода с лесной площади объясняются более длительным вегетационным периодом.

Причина же более сильного иссушения почвы под сельскохозяйственными культурами, по сравнению с лесом, заключается в том, что весеннее пополнение запаса влаги в пахотных почвах меньше, чем в лесных, вследствие того, что с пашен больше теряется влаги путем ветрового сноса снега и поверхностного стока талых и ливневых вод.

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в подзолистой зоне в целом вполне удовлетворительна. Однако в южной части зоны часто возникают кратковременные периоды недостаточной влагообеспеченности. Анализ условий атмосферного увлажнения для Москов-

ской области показывает, что из 100 лет 7 бывают сильно засушливыми, 22 года средnezасушливыми, 48 лет нормальными, 16— избыточно-влажными и 7 — сильно избыточно-влажными.

Таким образом, в среднем один раз в три года здесь может создаваться недостаточная влагообеспеченность в силу чего в такие годы может оказаться эффективным и экономически оправданным орошение наиболее ценных культур.

Т а б л и ц а 6

Расход влаги лесом и разными сельскохозяйственными культурами за вегетационный период на дерново-подзолистой почве (Колхоз «Колос» Московской области, 1961 г.)

Культура	Продолжительность вегетационного периода, дней	Сумма осадков, мм	Расход влаги	
			суммарный, мм	в сутки, мм
Озимая пшеница по пару	101	197	280	2,8
Озимая пшеница по пласту	101	197	294	2,9
Овес	103	174	285	2,8
Картофель	113	176	253	2,2
Травы 1-го года пользования	122	227	320	2,6
Травы 2-го года пользования	131	232	391	3,0
Лес смешанный	142	247	403	2,8

Чистые пары в зоне подзолистых почв необходимы лишь как средство борьбы с сорняками, так как накапливать влагу здесь не нужно. Целесообразно заменять чистые пары занятыми; такая замена дает дополнительную сельскохозяйственную продукцию и одновременно сохраняет до посева озимых влагу в количестве, обеспечивающем прорастание семян и получение сильных всходов. Борьбу же с сорняками следует вести химическими средствами с помощью гербисидов.

В северной части подзолистой зоны нередко наблюдается избыточное поверхностное увлажнение, обычно связанное с тяжелым механическим составом почв и равнинностью рельефа. Эти условия вызывают застой влаги на поверхности почвы и поверхностное заболачивание. Грунтовые воды при этом могут залегать глубоко. При

поверхностном заболачивании образуются глеевато-подзолистые и глеево-подзолистые почвы с оглеением в их верхних слоях.

Борьба с поверхностным заболачиванием осуществляется с помощью агротехнических мероприятий. Наиболее простой прием — узкозагонная пахота вдоль склона с устройством неглубоких ложбинок или канав вдоль по границам загонов. Избыток влаги легко стекает с поверхности почвы в эти канавки и по ним — в естественные водоприемники. При наличии почвенной верховодки можно использовать несколько более глубокие канавы; они должны доходить до верхней поверхности водоупорного слоя или даже прорезать его насквозь, если мощность слоя невелика.

Следует отметить, что при поверхностном заболачивании (а иногда и при маломощной верховодке) запас избыточной влаги бывает обычно небольшим — несколько десятков миллиметров. После его удаления на почвах тяжелого механического состава, имеющих малый диапазон активной влаги, запас легко усвояемой влаги в почве может быстро исчерпаться и избыточное увлажнение сменится засухой. Поэтому осушительные мероприятия на таких почвах следует применять очень осторожно, всесторонне учитывая все природные и хозяйственные условия и потребности растений.

При поверхностном избыточном увлажнении применяют закрытый дренаж с помощью гончарных труб или труб из другого материала, закладываемых на глубине 40—50 см. Этот способ осушки более дорогой, но он имеет то огромное преимущество, что позволяет регулировать водный режим, прекращая сток влаги в периоды, когда появляется угроза засухи.

Болотные почвы *

Болотом принято называть участок территории, характеризующийся обильным застойным или проточным увлажнением, на котором имеется толща торфа и растительный покров, состоящий из специфических видов болотных растений, приспособленных к существованию в

* В этом параграфе использованы работы по гидрологии болот К. Е. Иванова, В. В. Романова и И. Н. Скрынниковой.

условиях высокого увлажнения и недостатка кислорода.

Растительность болот представлена мхами, травянистыми растениями, кустарничками, кустарниками и древесными растениями. Корни этих растений не достигают минерального грунта, подстилающего болото. Отмирая, они увеличивают торфяную толщу.

Мощность торфяной толщи в лесной зоне, в которой болота наиболее распространены, чаще всего варьирует в пределах 3—4 иногда — 8—9 м.

По условиям залегания в отношении рельефа болота разделяются на две группы: болота водораздельных пространств и болота речных долин.

В первой группе выделяются болота следующих типов залегания: плакорного, склонового и котловинного; во второй группе — пойменные, притеррасные и болота староречий.

Болота водораздельных пространств имеют главным образом атмосферное питание влагой; только у котловинных болот есть дополнительное поверхностное увлажнение, часто значительное. У пойменных и притеррасных болот обычно смешанное питание: грунтово-атмосферное в сочетании с питанием полыми речными водами.

В зависимости от условий увлажнения и связанного с ним поступления зольных веществ болота разделяются на три типа (табл. 28): низинные — зольность 5—18% и рН 5,5—7,5; переходные — зольность 4—5% и рН 4,5—5,5 и верховые — зольность 2—4% и рН 3,5—4,5.

Низинные болота имеют обычно плоскую поверхность, а верховые — выпуклую.

Торф отличается малой плотностью. При удельном весе сухого торфа 1,5—1,7 порозность его равна 90—98% от объема, а объемный вес — 0,03—0,15 г/см³. Полная влагоемкость торфа равна 92—98% по объему или 87—97% от веса влажной почвы (600—3000% от веса сухой почвы). Торф низинных болот имеет более высокий объемный вес и меньшую порозность и влагоемкость, чем торф верховых болот. При распахке и освоении торфяно-болотных почв их объемный вес увеличивается до 0,25 г/см³, порозность уменьшается до 85%, а влагоемкость — до 80% от веса влажной почвы (400% от веса сухой).

В очёсе верховых болот, т. е. в самом верхнем слое, состоящем из живых моховых растений и их свежих, еще

не разложившихся остатков, сухое вещество занимает 1—2% от объема.

Значительная часть влаги, содержащейся в торфе, находится в форме связанной. Однако связанная вода в торфе — особенно рыхлосвязанная — имеет природу несколько иную, чем в почвах и минеральных грунтах.

Особое место в этом отношении занимает очёс, частично состоящий из живых моховых растений, но являющийся частью торфяного слоя. В той его части, которая образована живыми растениями, значительное количество влаги удерживается живыми клетками; это осмотическая влага в подлинном смысле слова. Значительную часть влаги, содержащуюся в мертвой части очёса, принято называть тоже осмотической, хотя это, по-видимому, неверно, ибо после отмирания протоплазмы осмотические свойства ее исчезают. Содержание осмотической воды в очёсе велико и варьирует от 10 до 80% объема, чаще всего — 20—50%. Кроме осмотической влаги, в очёсе содержится еще влага капиллярная. Водоподъемная способность очёса очень невелика, не превышает обычно 20—40 см; содержание капиллярной влаги 20—50% наблюдается лишь в слое мощностью не более 10 см, непосредственно лежащем над уровнем грунтовой воды. Выше содержание капиллярной влаги быстро уменьшается.

Малая величина водоподъемной способности очёса объясняется относительно большой величиной поперечника капиллярных пор — 0,05—0,1 мм. Значительный размер пор является причиной большой скорости восходящего капиллярного передвижения влаги в очёсе. Поэтому испарение не в состоянии сколько-нибудь существенно снизить влажность почвы, если уровень грунтовых вод лежит на глубине 20—30 см от поверхности.

Крупный размер пор в очёсе определяет и значительную величину коэффициента фильтрации, которая варьируется от 7 до 20 см/сек. С глубиной коэффициент фильтрации быстро снижается: от 100—900 см/сек в поверхностном слое, на глубине 3—5 см, до десятых или сотых долей см/сек на глубине 30—40 см, в слое собственно торфа, т. е. фильтрация снижается в тысячи и десятки тысяч раз.

Благодаря такому малому значению коэффициента фильтрации в слоях торфа, лежащих глубже 1 м, эти

слои оказываются практически водонепроницаемыми. Поэтому скорость стекания влаги с болотных массивов и вызываемое им понижение уровня грунтовых вод определяется водопрпускной способностью верхнего деятельного, т. е. собственно почвенного слоя.

Стеkanie воды с болотного массива продолжается лишь до тех пор, пока не истощится запас свободной влаги в деятельном слое. Роль воды, содержащейся в инертном слое, ничтожна. Водоотдача из массивов летом и зимой почти прекращается.

Водный режим болот относится к промывному типу. Но мощность промываемой толщи в соответствии с только что сказанным очень невелика. В зависимости от характера вод, питающих болото, его водный режим относится к классу болотному или грунтово-болотному*.

Гидрологический год начинается довольно высоким стоянием почвенно-грунтовых вод. После замерзания поверхности болота уровень почвенно-грунтовых вод опускается благодаря стоку воды, но опускание прекращается как только уровень вод достигнет пределов деятельного слоя. Весной во время снеготаяния зеркало вод поднимается к дневной поверхности и удерживается на этом уровне (нередко поверхность болота заливается талыми водами) некоторое время. Затем, в результате усиления испарения и десукции уровень вод, отсасываемых растениями, стекающих и испаряющихся, постепенно падает. Однако каждый более или менее значительный дождь вызывает новое поднятие уровня. После того как верхняя граница капиллярной каймы оторвется от корнеобитаемого слоя, падение уровня грунтовых вод замедляется. Влажность почвенного слоя в течение всего вегетационного периода колеблется в пределах от полной до наименьшей влагоемкости. Осенью влажность почвы увеличивается, а уровень грунтовых вод начинает повышаться.

Общая величина испарения с болотных массивов несколько меньше, чем с площадей, занятых сельскохозяйственными культурами.

* Мы не рассматриваем водный режим таких болот, в которых вода почти постоянно стоит на поверхности (например черноольховые топи) и которые в гидрологическом отношении являются переходами к водоемам.

Все, что было сказано выше, относилось к естественным болотным массивам, не подвергавшимся осушке и освоению.

Болотные массивы с давних пор являются объектами сельскохозяйственного освоения, причем освоению всегда предшествует осушка болот. Осушаются и осваиваются в первую очередь низинные болота, торф которых обладает высокой зольностью и большими запасами питательных веществ. Осушка болот совершается в помощью открытой или закрытой, а в некоторых случаях смешанной дренажной сети. Ее назначение — понизить уровень почвенно-грунтовых вод, а вместе с ним опустить капиллярную кайму и удалить часть капиллярной влаги. Влияние дренажа на уровень грунтовых вод и положение капиллярной каймы показано на рис. 12. Осушенные болота в дальнейшем распахиваются и осваиваются под сельскохозяйственные культуры.

Водный режим торфяных почв на осушенных и освоенных болотах требует регулирования. Для этой цели используют различные приемы в зависимости главным образом от климатических условий. В северной части лесной зоны, где осадков выпадает много, а испаряемость вследствие умеренных температур низка, можно не опасаться глубокого осушения болота: выпадающих осадков достаточно, чтобы поддерживать высокую влажность торфяных почв.

Иное наблюдается в южной части лесной зоны, где преобладают высокие летние температуры, а осадков выпадает недостаточно. Малая величина водоподъемной способности торфов, разрыхление пахотного горизонта и опускание капиллярной каймы, вызванное осушкой, являются причиной того, что на осушенных и освоенных болотах пахотный слой охватывается капиллярной каймой только во влажные годы, а в средние по увлажнению годы расположен над капиллярной каймой. Его влажность поэтому не превышает наименьшей влагоемкости, а в сухие периоды даже понижается до влажности завядания, что вызывает снижение урожая. Для обеспечения растений влагой необходимо поддерживать грунтовые воды на уровне 70—100 см, чтобы подпахотный горизонт постоянно находился в капиллярной кайме. В этом случае сельскохозяйственные культуры смогут в сухие периоды обеспечивать себя влагой, углубляя

корни в подпахотный горизонт, содержащий свободную гравитационную влагу. Поддерживать грунтовые воды на необходимой глубине можно регулируя уровень воды в осушительных канавах с помощью шлюзов. Чрезмерно сильная осушка, т. е. чрезмерное понижение уровня грунтовых вод, влечет за собой опускание капиллярной каймы за пределы подпахотного горизонта и резкое снижение влагообеспеченности растений. Кроме того, значительное иссушение торфяно-болотной почвы влечет за собой необратимые процессы коллоиднохимической природы, в результате которых почва распыляется, теряет способность смачиваться и резко снижает свое плодородие (вплоть до полной его потери). Вследствие иссушения и распыления почва развевается ветром, причем на болотах возникают настоящие черные бури.

В условиях влажного и теплого лета глубокая осушка вызывает быстрое разложение торфа и, как следствие этого, непроизводительную растрату его плодородия. Поэтому мелиорация болот в целях сельскохозяйственного освоения в южной части лесной зоны заключается не в максимальной их осушке, а лишь в регулировании водного режима торфяно-болотных почв, которое создает оптимальный водно-воздушный режим в пахотном слое и постоянный резерв легко доступной влаги в подпахотном.

Лесостепные почвы

Зона лесостепи четко выражена в Европейской части СССР и может быть прослежена в Западной Сибири. В Восточной Сибири лесостепная зона имеет своеобразный характер: чередование северных облесенных склонов с южными лугово-степными.

Для лесостепной зоны в пределах Европейской части Союза и Западной Сибири характерно распространение очень широкой и разнообразной по своим свойствам группы почв: светло-серых, серых, темно-серых лесных почв и черноземов: оподзоленных, выщелоченных и тучных-мощных. В этом же порядке эти почвы сменяют одна другую при движении от северной границы зоны к южной. Грунтовые воды в почвах лесостепи, как правило, лежат глубоко и прямого участия в водном режиме почв не принимают, за исключением речных террас и

нижних частей склонов, где при благоприятном геологическом строении к поверхности могут подходить аллохтонные воды. На выровненных слабодренированных водоразделах тоже можно найти близкие к дневной поверхности автохтонные воды.

Средние многолетние величины коэффициента увлажнения (КУ) в лесостепной зоне близки к единице; это определяет преобладание водного режима периодически промывного типа. Во влажные годы величина КУ выше единицы, а водный режим складывается по типу промывного. В годы с пониженным количеством осадков КУ ниже единицы, и водный режим складывается по типу непромывного. В такой обстановке большое влияние на тип водного режима оказывают, кроме климатического, и другие факторы: характер материнской горной породы (особенно ее механический состав) и растительности. Песчаный состав почв и подстилающих грунтов способствует возникновению водного режима промывного типа вследствие малой величины водоудерживающей способности таких почв. О влиянии растительности будет подробно сказано ниже.

Рассмотрим особенности промывного типа водного режима в условиях лесостепной зоны.

Характерная черта наиболее распространенных в лесостепной зоне почв — значительная мощность их профиля, достигающая 3 и даже 4 м. Благодаря большому расходу влаги летом на испарение и десукцию, почва к осени оказывается сильно иссушенной, особенно в верхней своей части. Осенние дожди вызывают промачивание лишь самых поверхностных слоев почвы. При отсутствии зимних оттепелей почва в таком иссушенном состоянии сохраняется до весны. Во время весеннего снеготаяния наблюдается сквозное промачивание почвенно-грунтовой толщи, сопровождающееся некоторым повышением уровня грунтовых вод вследствие глубокой инфильтрации талых вод. Процесс инфильтрации быстро заканчивается, и уже в конце апреля, с началом вегетации растительности, почва начинает иссушаться — сначала с поверхности, а затем во всей своей толще. В течение вегетационного периода сквозное промачивание больше не повторяется, так как дожди не могут компенсировать быстро нарастающий дефицит влаги в почве, промачивая лишь ее поверхностные слои.

Вся почвенная толща охватывается горизонтом сильного иссушения, а верхняя ее часть — горизонтом предельного десуктивного иссушения. Восходящие токи влаги из грунта в почву развиты слабо вследствие того, что быстрое иссушение почвы быстро снижает и ее влагопроводность. Грунт под почвой в течение всего года сохраняет влажность, близкую к величине наименьшей влагоемкости.

В те годы, когда талых вод не хватает на погашение осеннего дефицита влаги, сквозное промачивание весной не наблюдается. Водный режим складывается в общем так же, но предельное десуктивное иссушение охватывает почвенную толщу на большую глубину, а в нижней ее части сохраняется до весны следующего года не погашенная весенним промачиванием сухая прослойка. Пополнения грунтовых вод не происходит.

Таковы главные отличительные черты водного режима периодически промывного типа. Благодаря тому, что почвенно-грунтовая толща периодически промывается насквозь, в лесостепных почвах мы не находим легко-растворимых солей, а карбонаты в них бывают вымыты на большую или меньшую глубину.

Поскольку для лесостепи характерно сочетание участков с широколиственной древесной и травянистой (в том числе культурной) растительностью, здесь особое значение приобретает вопрос о влиянии растительности на водный режим почв. Главные различия между этими типами растительности заключаются в следующем.

Во-первых, древесная растительность повышает количество влаги, поступающей в почву. С безлесных пространств снег переносится ветрами с водоразделов и их склонов в речные долины, балки, овраги и т. д. Особенно легко снег сносится с обнаженных полей, в меньшей мере с целинных степных участков (которых в настоящее время в лесостепи почти не осталось) и с полей многолетних трав. В то же время под лесными массивами весь выпавший снег ложится на поверхность почвы и сохраняется до весны, так как в лесу скорость ветра ничтожна и ветрового переноса снега нет, а кроны деревьев широколиственных зимнеголых пород снега почти не задерживают. Поэтому весеннее поступление влаги в почву под лесом значительно больше, чем под степными и полевыми участками. Это дополнительное коли-

чество влаги затем возвращается в атмосферу путем испарения и транспирации. Таким образом, влагооборот почвы увеличивается за счет прихода и расхода. Количество снега, снесенного с безлесного пространства, по сравнению с лесом может достигать 30 мм для целинной степи и 50—70 мм для поля. В относительных величинах это выражается цифрами 25—50%.

Во-вторых, корни деревьев проникают на большую глубину, чем корни травянистой растительности. Это относится прежде всего к однолетним сельскохозяйственным культурам, различия между лесом и целинной степью меньше. Такое различие в глубине пропикновения корней имеет своим следствием меньшую мощность слоя активного влагооборота под травянистой растительностью по сравнению с лесом, а следовательно, и меньшую величину расхода влаги.

Третье различие между древесной и травянистой растительностью заключается в том, что продолжительность вегетационного периода у леса больше, чем у травянистой растительности, в особенности у однолетних сельскохозяйственных культур, вследствие чего расход влаги из почвы под лесом продолжается дольше и достигает большей величины.

Таким образом, первая из рассмотренных причин влечет за собой увеличение прихода влаги в почву лесом, а вторая и третья — увеличение расхода. В сумме эти особенности увеличивают влагооборот почвы.

В северной части лесостепной зоны, где выпадает большое количество осадков, в результате увеличения влагооборота под лесными массивами, под степными участками и сельскохозяйственными угодьями водный режим складывается по типу периодически промывного. Под лесом в этом случае сквозное промачивание наблюдается реже. В южной части зоны выпадающих осадков недостаточно для покрытия расхода влаги под лесом. Водный режим почвы под лесом в этом случае складывается по типу непромывного, в то время как под полями с сельскохозяйственными культурами он остается периодически промывным.

Иллюстрацию этого мы находим на рис. 14, на котором изображено распределение влаги в почве под лесом и под полем в том же Тростянце. В толще грунта мощностью по меньшей мере 10 м влажность грунта под

лесом в среднем на 5—6% ниже, чем под полем. Под полем уже в третьем метровом слое влажность приближается к величине ВРК, которая здесь равна примерно 18%, а в шестом метровом слое — к величине НВ, ко-

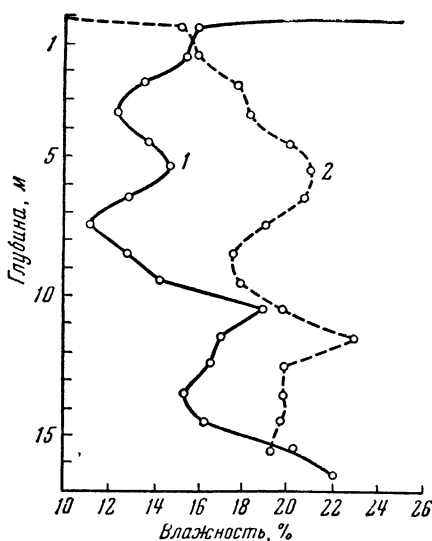


Рис 14 Влажность почвы в лесу (1)
и в поле (2)

рая равна 20—22%. В то же время под лесом до глубины около 8 м сохраняется влажность, соответствующая ВЗ, и только в десятом метровом слое она приближается к величине ВРК, а в шестнадцатом метровом слое — к величине НВ.

Таким образом, лес способствует не только возникновению водного режима непромывного типа, но и прогрессивному медленному иссушению толщи грунта на значительную глубину. Вырубка леса, как показывают наблюдения, прекращает десукцию древостоем и вызывает через 2—3 года сквозное промачивание почвенно-грунтовой толщи.

Установление периодически промывного водного режима под травянистой растительностью говорит о том,

что влаги в зоне лесостепи достаточно. Однако условия атмосферного увлажнения не устойчивы. В периоды с пониженным количеством осадков, когда КУ ниже единицы, влагообеспеченность бывает недостаточной. Такие периоды в лесостепной зоне не редкость. Поддерживать высокую влагообеспеченность можно лишь при условии максимальной сохранности и продуктивного расходования влаги, содержащейся в почве. Поэтому в этой зоне могут быть рекомендованы все мероприятия, которые способствуют снижению непродуктивных потерь влаги. К их числу относятся прежде всего мероприятия, направленные на предотвращение поверхностного стока талых и дождевых вод: вспашка поперек склона, прерывистое бороздование и устройство валиков поперек склона. Все эти приемы создают искусственный микро-рельеф, в понижениях которого задерживается вода.

Далее, в лесостепной зоне целесообразно развитие полезащитного лесоразведения. Лесные защитные полосы, насаженные поперек склона, гасят поверхностный сток, способствуют сохранности снега на межполосных полях, понижают скорость ветра и испарение с этих полей. Создание сети лесных полос, которая никогда не бывает достаточно частой, целесообразно дополнять посевом кулис, т. е. узких, 6—8-рядных полос кукурузы, подсолнечника и других высокостебельных трав, которые тоже способствуют сохранности снега на полях.

Различные приемы поверхностной обработки, имеющие своей целью борьбу с сорняками и рыхление почвы для понижения скорости испарения, также необходимы в лесостепной зоне. В целом можно утверждать, что в этой зоне высокие урожаи в периоды с малым количеством осадков вполне могут быть обеспечены правильной агротехникой и полезащитными насаждениями.

Степные черноземы

Наибольшее распространение в степной зоне имеют черноземы — обыкновенные, южные и другие. Для них наиболее характерен степной класс водного режима, относящийся к непромывному типу.

Грунтовые воды в степной зоне, как правило, залегают на глубине 12—14 м и глубже и обычно бывают слабо засолены. На слабодренированных плоских

водоразделах автохтонные воды могут залегать близко от поверхности — на глубине 4—6 м. В этих случаях черноземы замещаются лугово-черноземными почвами.

Водный режим степного класса схематически изображен на рис. 15.

Условия атмосферного увлажнения характеризуются средней многолетней годовой величиной КУ ниже единицы — 0,5—0,6. В весенне-летне-осенний период (апрель — октябрь) величина КУ значительно ниже единицы — 0,3—0,4, а зимой несколько ее превышает.

Характерная черта начала гидрологического года — сильная иссушенность всего почвенного профиля, влажность которого в этот момент соответствует влажности завядания, а в самом поверхностном слое, благодаря физическому иссушению, может быть и ниже. Под почвенной толщей, в грунте, влажность постепенно повышается и на глубине 2—4 м от нижней границы почвенной толщи достигает величины, равной наименьшей влагоемкости. Эта влажность сохраняется и глубже, до верхней границы капиллярной каймы, глубина которой зависит от глубины грунтовых вод и мощности капиллярной каймы.

Количество осадков в осенние месяцы невелико, в силу чего ими промачивается лишь самый поверхностный слой почвы, под которым до весны сохраняется сухой слой с влажностью, равной влажности завядания. Весной происходит более глубокое промачивание почвы за счет инфильтрации талых вод и дождевых осадков, выпадающих за время снеготаяния или сразу после него. Период промачивания очень невелик — дни или немногие недели, после чего, в связи с начинающейся вегетацией растительности, почва начинает иссушаться. Промачивание не бывает сквозным. Наибольшая предельная глубина промачивания, наблюдающаяся лишь после многолетних периодов повышенного атмосферного увлажнения, может варьировать от одного до двух метров в южных черноземах и от двух до трех метров — в обыкновенных. Обычно же глубина промачивания значительно меньше, что зависит от суммы осенне-зимне-весенних осадков. Под промоченным слоем всегда остается сухой слой с влажностью, близкой к влажности завядания. Промоченный слой по мере развития растительности и повышения температуры быстро иссушается. Это иссу-

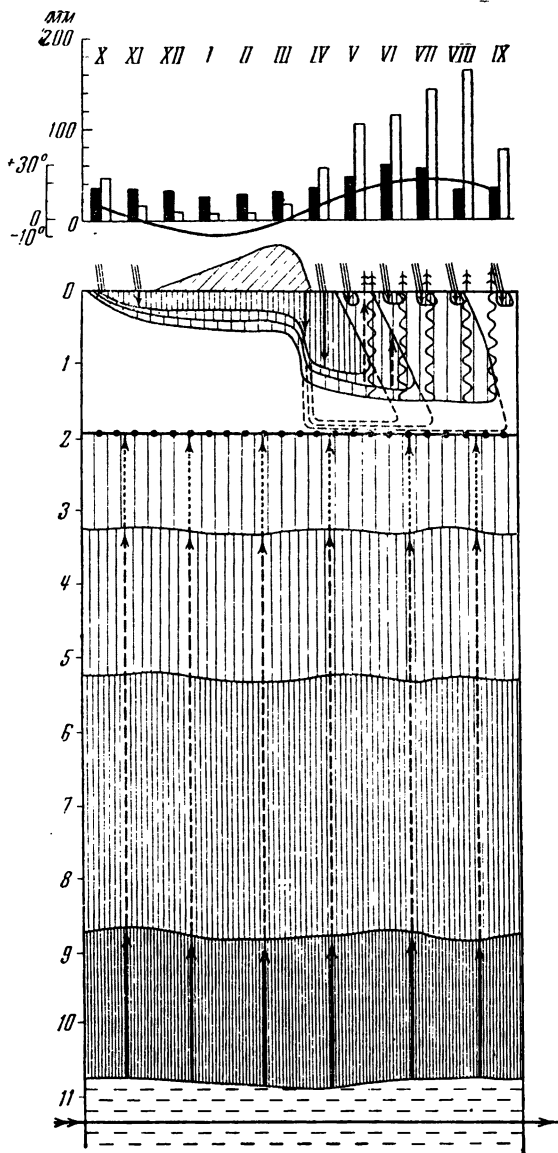


Рис. 15. Водный режим степного класса

шение происходит сразу во всей толще (под целинной степной растительностью и многолетними культурами) или постепенно распространяется сверху вниз (под однолетними культурами). К середине лета весь запас доступной влаги обычно бывает уже исчерпан и дальнейшие изменения влажности наблюдаются лишь в самом поверхностном слое почвы, промачиваемом летними осадками. Дефицит влажности в конце гидрологического года настолько велик, что не может быть погашен суммой осенне-зимне-весенних осадков даже в многолетние периоды с повышенным атмосферным увлажнением. Поэтому сухой слой существует постоянно, и в почве складывается водный режим непромывного типа.

Как мы уже отметили, влажность верхних слоев грунта, лежащих непосредственно под почвенной толщей, также близка к влажности завядания, постепенно повышаясь книзу. Постоянно сухой слой, охватывающий и самую верхнюю часть грунтовой толщи, обладает, благодаря своей низкой влажности, большой всасывающей силой, так как капиллярные силы и значительная часть сорбционных сил, присущих этому слою, остаются свободными. Книзу от этого слоя влажность постепенно повышается, а всасывающая сила соответственно уменьшается, благодаря чему в толще грунта создается градиент всасывающего давления. Этот градиент вызывает восходящее передвижение влаги, которое начинается от уровня грунтовых вод (несмотря на их глубокое залегание) и заканчивается на нижней границе корнеобитаемого слоя, где восходящая влага поглощается корнями растений. Передвижение совершается очень медленно (несколько миллиметров в год), потому что на пути движущейся влаги имеется сухой слой с ничтожной влажностью. Но в силу постоянного существования градиента всасывающего давления передвижение происходит непрерывно. Значение влаги, передвигающейся с такой скоростью, в водном режиме и водном балансе почвы ничтожно. Но вместе с этой влагой вверх движутся содержащиеся в грунтовой воде соли, накопление которых на нижней границе почвенного профиля имеет существенное влияние на почвообразование, часто вызывая солонцеватость почвы.

Из всего сказанного ясно, что в почвах с водным режимом непромывного типа не только не происходит

сквозного промачивания почвенно-грунтовой толщи, но наоборот, существует постоянный очень медленный, направленный вверх ток влаги. Под такими почвами мы всегда находим на той или иной глубине грунтовые воды. Спрашивается: каким же образом эти воды образуются и как они питаются?

Образование и питание этих вод связано с небольшими понижениями рельефа — потяжинами, блюдцами, западинами и т. д., встречающимися на площадях, занятых почвами с водным режимом непромывного типа. В таких понижениях снег зимой накапливается в количестве большем, чем на соседних ровных возвышенных участках, весной сюда стекает часть талых вод. Почвы, занимающие эти понижения, получают не только всю сумму осадков, но еще и дополнительное количество влаги за счет накопления снега и поверхностного притока. Вследствие этого в таких понижениях сумма осенне-зимне-весенних осадков и дополнительного поверхностного притока влаги превышает осенний дефицит влаги и почвенно-грунтовая толща промачивается насквозь. Избыток влаги, равный разности между названной суммой и величиной дефицита, уходит в грунтовые воды. Уровень их под понижениями рельефа несколько повышается, образуя купол. В течение лета этот купол исчезает.

Понижения рельефа, через которые происходит питание грунтовых вод, по предложению Высоцкого, называются потускулами. Это греческое слово в переводе на русский язык значит «кормители». Водный режим почв в таких понижениях относится к периодически промывному типу, к степному потускулярному классу. Сквозное промачивание зависит от их глубины и от погодных условий в потускулах и наблюдается не ежегодно.

Водный режим черноземов существенно изменяется при посадке леса. Степень и характер изменения режима зависит от типа насаждения — массивного или полосного. Как показывают многочисленные наблюдения, создание массивного насаждения на черноземе не меняет типа его водного режима, но в то же время увеличивает влагооборот почвы. Это выражается в том, что за осенне-зимне-весенний период почва под массивным насаждением накапливает больше влаги и глубже промачивается, чем почва под пашней или под естественной травянистой

растительностью. Накопление большого количества влаги ведет к большому ее расходу: все дополнительно накопленное количество влаги отсасывается растительностью и испаряется в атмосферу.

Таким образом, в этих климатических условиях лес увеличивает приход и расход влаги, т. е. весь влагооборот в целом. В то же время он иссушает глубокие слои грунта.

Лесные полосы влияют иначе, чем массивные насаждения. Они накапливают в себе зимой снег, приносимый ветром, причем запас снега может значительно превосходить количества его в открытом поле или в степи. Мощный снежный сугроб ослабляет промерзание почвы или даже полностью предотвращает его, в силу чего почва сохраняет свою водопроницаемость. Обильные талые воды, возникающие под полосой при таянии сугроба, инфильтруются в почву и вызывают ее глубокое промачивание, нередко достигающее грунтовых вод.

Вопросы влагообеспеченности в степной зоне стоят очень остро, и влага среди других факторов плодородия выдвигается на первое место. Это объясняется тем, что величина испаряемости велика и значительно превышает количество осадков. Кроме того, здесь создается обстановка, способствующая непродуктивному физическому испарению влаги. Всякое уменьшение количества влаги, вызванное колебаниями в величинах атмосферного увлажнения или непродуктивной потерей влаги, уже попавшей в почву, снижает влагообеспеченность растений и их урожай. Это положение отчетливо иллюстрирует рис. 16, на котором показана зависимость урожая от валового расхода влаги, по данным Саратовской опытной станции. График этот прежде всего показывает, что существует некоторая минимальная величина валового расхода влаги, близкая в данном случае к 100 мм. Если валовой расход влаги ниже предельной величины, то урожай вообще не получается. Эта величина характеризует минимум непродуктивных потерь влаги, которые могут быть снижены при более совершенной агротехнике. На рисунке видно, какое огромное влияние оказывает на урожай обеспеченность влагой. Поясним, что в годы «обеспеченного влагоснабжения» в верхнем полуметровом слое почвы влажность в течение вегетационного периода ни разу не опускалась до влажности

завядания. А в годы с «необеспеченным влагоснабжением» в отдельные декады в верхнем полуметровом слое доступная влага отсутствовала.

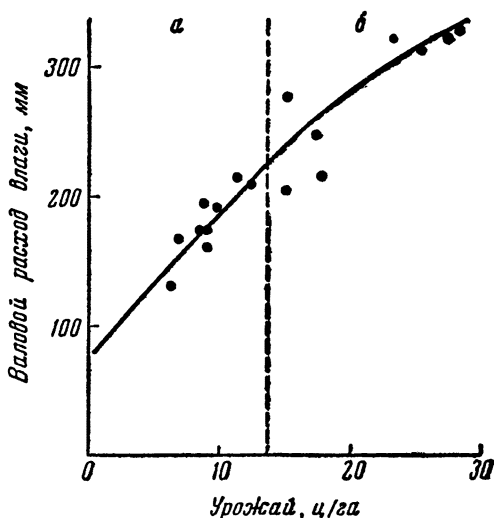


Рис. 16. Кривая показывающая зависимость урожая от расхода влаги. (По Алпатьеву)

а—годы с необеспеченным влагоснабжением;
б—годы с обеспеченным водоснабжением

Недостаточная обеспеченность сельскохозяйственных растений в степной зоне делает необходимым проведение мероприятий, направленных на создание в данных природных условиях максимальной влагообеспеченности. Лучшим способом обеспечения растений влагой в необходимом для них количестве является орошение. Однако оно осуществимо в этой зоне на относительно небольших площадях и применяется лишь для наиболее ценных культур: огородных, бахчевых, плодовых. Массовые же мероприятия, применяемые на основных сельскохозяйственных площадях, рассчитаны на неполивное земледелие.

Единственным источником влаги здесь остаются атмосферные осадки, увеличить количество которых мы не можем. Поэтому агротехнические мероприятия должны

иметь своей целью максимально продуктивное использование этих осадков. В связи с этим главной задачей агротехники должна быть борьба с непродуктивными видами расхода влаги: ветровым сносом снега, поверх-

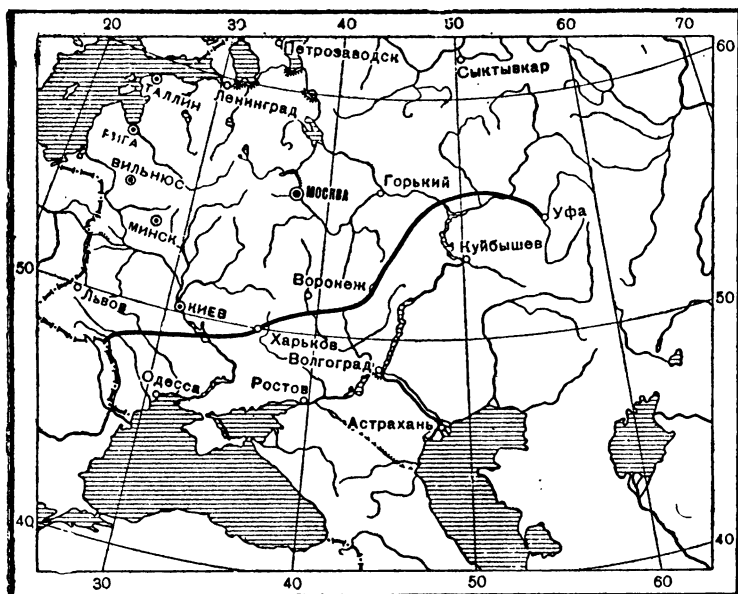


Рис. 17. Северная граница обязательного ежегодного накопления снега для обеспечения минимальной потребности яровых хлебов во влаге

ностным стоком, физическим испарением влаги из почвы и с наземных органов растений. Некоторые из этих потерь не поддаются пока нашему воздействию, например, расходы на испарение с надземных органов растений, которые могут достигать 20—25% от суммы осадков. Наиболее важна и легко осуществима борьба за сохранение снега. Суммарная потеря влаги осадков холодного полугодия в лесостепной и степной зонах Европейской части Союза достигает 40% и обусловлена главным образом ветровым сносом снега.

На рис. 17 изображена северная граница той зоны в Европейской части Союза, в которой необходимы ме-

роприятия по снегозадержанию для создания достаточной влагообеспеченности яровых хлебов.

К мероприятиям, направленным на задержание снега, следует отнести создание полезащитных лесных полос, кулис из высокостебельных однолетних культур (подсолнечник, сорго, кукуруза и др.), расстановку в поле щитов, устройство валов из снега. Из этих мероприятий наиболее эффективны полезащитные лесные полосы, благотворное влияние которых сказывается на значительном расстоянии в продолжение многих лет.

Для того, чтобы влияние лесных полос было полноценным, они должны быть продуваемы, т. е. должны иметь соответствующую конструкцию. Только при этом условии снег будет ложиться на полях между полосами более или менее равномерно, а не в виде сугробов в самих полосах и рядом с ними. Образование таких сугробов хотя и обеспечивает влагой самые полосы, но одновременно сопряжено с потерей снега на межполосных полях. Плотные широкие полосы вызывают именно такое нежелательное перераспределение снега, в то время как узкие продуваемые полосы создают условия для более равномерного распределения его на полях.

Однако сеть лесных полос никогда не бывает настолько густой, чтобы сохранить снег в виде вполне равномерного покрова. Поэтому в помощь лесным полосам в межполосных пространствах следует сеять кулисы (узкие 6—8 рядные полосы) из высокостебельных однолетних растений: оставленные на зиму, они способствуют сохранению снега.

Далее, очень важный момент — борьба с поверхностным стоком, которая преследует не только сохранение влаги, но и сохранение самой почвы от размыва и смывания. Важнейшее мероприятие в этой борьбе — вспашка поперек склона, которая, сильно замедляя или даже прерывая поверхностный сток, способствует впитыванию талых вод в почву. Еще лучше задерживает стекающие по склону талые воды прерывистое бороздование поперек склона. Образующиеся при бороздовании прерывающиеся продолговатые углубления, вытянутые по горизонтали, заполняются талыми водами, которые впитываются в почву. Прерывистость борозд препятствует стеканию влаги вдоль них. По своему действию

прерывистым бороздам близки валики, которые делаются тоже поперек склона.

Большую роль в борьбе с поверхностным стоком играют и лесные полосы. Расположенные поперек склонов, они перехватывают стекающие по склону в межполосных пространствах воды, потому что водопроницаемость почв под полосами всегда значительно выше, чем под межполосными пашнями. В результате такого перехвата поверхностный сток превращается в грунтовый. Однако действие полос имеет скорее противоэрозийное значение, т. к. оно повышает влагообеспеченность лишь под самой полосой, а не в межполосных пространствах. Все эти мероприятия направлены на повышение полноты усвоения влаги атмосферных осадков почвами.

Весьма важна и другая задача — снижение потерь влаги, уже поступившей в почву. Здесь на первое место выходят различные приемы рыхления почвы, перерывающие в верхнем слое почвы системы капиллярных пор, по которым влага может подниматься до самой поверхности. Поэтому весной поверхность почвы рыхлят различными орудиями (бороны, культиваторы и т. д.) для того, чтобы «закрыть влагу», т. е. снизить скорость ее испарения. Эти рыхления приходится повторять после дождей, вызывающих образование корки и восстановление систем капиллярных пор.

В борьбе с непродуктивными потерями влаги огромное значение имеет уничтожение сорняков. До сего времени борьба с сорняками ведется главным образом механически, путем подрезания их различными орудиями и ручной прополки там, где орудия применять нельзя. В ближайшее время можно ожидать перехода к массовому химическому истреблению сорняков с помощью гербисидов.

Степень продуктивности использования влаги зависит и от густоты посева, изменяя которую можно, с одной стороны, регулировать площадь питания культурных растений, а с другой, — регулировать затенение почвы и тем самым влиять на скорость физического испарения.

Одним из средств повышения влагообеспеченности в степной зоне считаются чистые пары, которые называют накопителями влаги. Однако их влагонакопительное действие ограничивается лишь частичным сохранением

зимних осадков. Наряду с этим чистые пары теряют очень много влаги совершенно непродуктивно. В табл. 7 мы приводим расход влаги с чистых паров из почв разных типов за разные по увлажнению годы. Из этих данных мы видим, что чистые пары теряют не только всю сумму летних осадков, но и существенное количество влаги из весеннего запаса.

Таблица 7

Расход влаги чистыми парами за вегетационный период на почвах различных типов в разные по увлажнению годы

Почва	Год	Характеристика года	Расход влаги, мм		
			из весеннего запаса	осадки вегетационного периода	Всего
Серозем Самаркандской области	1943	средний	95	0	95
Темноцветная почва большой падины Джаныбек	1956	влажный	64	154	218
	1957	сухой	54	74	128
Светло-каштановая почва Сальской степи	1954	сухой	136	170	306
	1955	средний	63	223	286
Чернозем мощный Курской области	1948	влажный	23	363	386
	1952	сухой	126	271	397

Значительные потери влаги чистыми парами (а также почвой, занятой сельскохозяйственными культурами) за счет физического испарения говорят о том, что земледелие в степной зоне располагает еще большими возможностями повышения продуктивности расходования почвенной влаги.

Чистые пары здесь следует заменять парами занятыми; это позволит продуктивно использовать значительную часть той влаги, которая в настоящее время теряется непроизводительно. В борьбе с физическим испарением влаги на площадях, занятых сельскохозяйственными культурами, метод рыхления почвы малоэффективен. Нужны новые методы, значительно более эффективные. Наконец, с помощью гербисидов должна быть широко внедрена борьба со злостными расхитителями влаги — сорными растениями.

В степной зоне до последнего времени широко практиковался посев многолетних трав, занимавших большие площади. Не говоря уже о низкой продуктивности травяных полей, травы очень плохие предшественники для других культур, так как они сильно иссушают почву на большую глубину. Сокращение площадей под многолетними травами позволит более продуктивно использовать ресурсы влаги, которыми располагает степная зона.

Почвы полупустынной зоны

Условия атмосферного увлажнения в зоне полупустыни характеризуются годовой суммой осадков от 200 до 300 мм. Средняя годовая величина коэффициента увлажнения колеблется в пределах 0,20—0,35, причем в течение вегетационного периода она уменьшается до 0,1. Число месяцев в году, когда испаряемость превышает сумму осадков, достигает восьми.

Наиболее распространены в зоне полупустыни каштановые и светло-каштановые почвы.

Для этих почв характерно наличие солей в грунте, в небольшом количестве и в почве, а также солонцеватость. Максимальное содержание солей обычно наблюдается на нижней границе почвенной толщи, соответствующей наибольшей глубине промачивания, аналогично южным черноземам. Солевой максимум у каштановых почв обычно расположен в первой половине второго метрового слоя, а у светло-каштановых — ближе к поверхности.

Водный режим каштановых почв относится к типу непромывного.

Кроме каштановых почв, в зоне полупустыни широко распространены солонцы, встречающиеся в виде пятен на фоне каштановых почв и образующие совместно с ними комплексный (мозаичный) почвенный покров.

Различие между этими почвами и черноземами заключается в том, что глубина залегания сухого слоя в каштановых почвах значительно меньше. В нижней части почвенного профиля постоянно сохраняется влажность сухого слоя, близкая к влажности завядания. Под снег почва уходит в большинстве случаев сухой, в силу чего, несмотря на глубокое и сильное промерза-

ние, сохраняет свою водопроницаемость и довольно полно усваивает талые воды. Промачивание заканчивается в апреле, затем начинается быстрое иссушение почвенного профиля. К началу июня полностью иссушается верхняя часть почвенного профиля, а к концу — весь профиль, причем в верхних его слоях влажность ниже величины влажности завядания. В течение всего лета на паровых полях в 60 см верхнего слоя влажность удерживается на уровне влажности разрыва капиллярной связи, хотя 20 см верхнего слоя и здесь заметно высыхает.

Таким образом, водный режим каштановых и светло-каштановых почв относится к непромывному типу, степному классу. Максимальная глубина промачивания в светло-каштановых почвах не превышает одного метра, в каштановых — полтора метра. Запас доступной влаги начинает исчезать из верхней части почвенного профиля в середине мая — конце июня.

Эти данные сами по себе уже говорят о том, что влагообеспеченность сельскохозяйственных культур на каштановых и светло-каштановых почвах находится на низком уровне. Высокие летние температуры, низкая относительная влажность воздуха еще более ухудшают условия произрастания растений со стороны их влагоснабжения. Поэтому, как правило, земледелие на каштановых и светло-каштановых почвах характеризуется низкими и неустойчивыми урожаями. Агротехника, применяемая в степной зоне и рассчитанная на максимальное усвоение и дальнейшее продуктивное расходование почвой влаги атмосферных осадков, здесь недостаточна. Только во влажные годы (один — два года из десяти) при количестве осадков, значительно превышающем их среднюю многолетнюю сумму, можно получить удовлетворительный урожай. В остальные годы урожай низкий — 2—3 ц/га или он гибнет полностью.

Для того, чтобы получать в этой зоне устойчивые и экономически выгодные урожаи, необходимо создавать дополнительное увлажнение. Наиболее целесообразный и эффективный способ дополнительного увлажнения — орошение. Но оно осуществимо далеко не везде вследствие отсутствия воды, пригодной для полива. Поэтому используют другой способ дополнительного увлажнения — накопление снега. Речь идет именно об активном

накоплении снега в количестве, существенно превышающем то, которое нормально выпадает на поверхность почвы. При этом распашка земель не должна быть сплошной, так как необходимо оставлять нераспаханные площади, с которых и сносится накапливающийся на пашнях снег. Распахиваемым массивам целесообразно придавать форму полос, вытянутых поперек направления господствующих зимних ветров. Суммарная площадь таких массивов может достигать одной четверти или одной трети общей площади в зависимости от количества снеговых осадков.

Задержание приносимого ветром снега на распаханых массивах можно производить с помощью различных приемов. Наиболее удобны древесно-кустарниковые или просто кустарниковые полосы. Размещать их нужно чаще, чем в степной зоне, через 40—60 м, чтобы получить более или менее равномерное накопление снега и полностью воспрепятствовать его дальнейшему переносу. Эффективны также кулисы из высокостебельных растений: кукурузы, подсолнечника, а на солонцеватых почвах — сорго. Эти кулисы можно сочетать с древесно-кустарниковыми полосами. Целесообразно также оставлять высокую стернь в сочетании с древесно-кустарниковыми полосами и высокостебельными кулисами. Опыты Темирского опытного поля и Джаныбекского стационара показывают, что активное снегонакопление повышает количество влаги, поступающее весной в почву, в 3—5 раз, благодаря чему урожаи существенно повышаются, достигая 8—12 ц/га и делаются устойчивыми.

Как мы говорили выше, в комплексе с каштановыми почвами обычно встречаются пятна солонцов. Солонцы характеризуются тем, что в их профиле имеется иллювиальный солонцовый горизонт, содержащий довольно много обменного натрия. Благодаря этому солонцовый горизонт при промачивании сильно набухает и полностью или почти полностью теряет свою водопроницаемость и запас воздуха. После высыхания горизонт растрескивается, запас воздуха восстанавливается, но содержание доступной влаги в это время бывает уже ничтожным.

Под солонцовым горизонтом на той или иной глубине есть соленосный горизонт. В естественном виде со-

лонцы отличаются крайне скудным увлажнением. Общая глубина промачивания солонца не превышает 30—40 см, т. е. промачивание ограничивается солонцовым горизонтом.

К началу июня, или даже ранее, вся доступная влага оказывается уже израсходованной. Летние дожди даже очень большой силы не промачивают солонцов, так как набухший солонцовый горизонт теряет свою водопроницаемость, и на поверхности солонца образуется лужа, которая вскоре высыхает.

Следовательно, водный режим солонцов относится тоже к типу непромывного, но с ничтожной глубиной промачивания.

Вовлечению солонцов в культуру должна обязательно предшествовать их предварительная мелиорация и глубокая вспашка, после чего их водные свойства улучшаются, они становятся способными усваивать и накапливать влагу, их водный режим сближается с водным режимом каштановых почв.

Почвы пустынной зоны

В пустынной зоне встречаются различные по своим свойствам почвы. Большую хозяйственную ценность имеют сероземы. На этих почвах при орошении выращиваются очень ценные культуры: хлопок, плодовые, виноград и др.

Характерная особенность атмосферного увлажнения сероземов — отсутствие осадков летом, с середины мая до середины октября. От октября к январю месячные суммы осадков нарастают. Максимальные суммы осадков приходятся на март — апрель, после чего снова наступает летний минимум. Годовая сумма осадков варьирует от 150 до 300 мм, а годовые величины испаряемости обычно превышают 1500 мм. Только в течение двух—трех зимних месяцев осадки превышают испаряемость и, следовательно, коэффициент увлажнения превышает единицу. В остальные 9—10 месяцев КУ значительно ниже единицы, а летом равняется нулю. Годовая величина КУ варьирует от 0,1 до 0,2. Средние годовые температуры превышают 10°; период температур ниже 0° длится декабрь — февраль. Средние июльские температуры превышают 25°. Зимние периоды отличаются крайне неустой-

чивой погодой. Средние месячные величины относительной влажности воздуха в летние месяцы уменьшаются до 40%, а в середине летнего дня — до нескольких процентов. Из сказанного мы видим, что режим атмосферного увлажнения отличается большой контрастностью — относительно обильная осадками прохладная зима сменяется жарким летом, когда полностью отсутствуют осадки.

Для целинных сероземов характерен водный режим непромывного типа. Промачивание почвенной толщи начинается осенью или зимой. Календарные даты этого момента в разные годы различны. Более или менее обильное выпадение осадков может начаться в октябре, ноябре, декабре и даже в начале следующего года. Полная глубина промачивания варьирует от 0,8—1,2 м на светлых сероземах с годовой суммой осадков 150—180 мм до 2 м на типичных сероземах с годовой суммой осадков около 300 мм.

В конце марта или начале апреля под целинной растительностью начинается быстрое иссушение всего почвенного профиля, которое заканчивается обычно уже в мае. В почвенном профиле устанавливается влажность, близкая к влажности завядания. Большая часть растительности прекращает свою вегетацию, за исключением некоторых отдельных видов, имеющих очень глубокие корни, например, верблюжья колючка. Такие растения посылают на глубину нескольких метров корневой тяж. Корень пронизывает сухой горизонт, достигает капиллярной каймы глубоко лежащих грунтовых вод, которые и снабжают растения влагой.

Влажность почвенной толщи уменьшается в дальнейшем до величин, лежащих в интервале от максимальной гигроскопичности до влажности завядания, причем в верхнем слое мощностью 20—30 см влажность падает до величины более низкой, чем максимальная гигроскопичность. В таком иссушенном состоянии почва остается до осени, когда начинается выпадение осадков и ее промачивание.

Профиль сероземов имеет характерный резко выраженный солевой горизонт непосредственно под почвенной толщей: максимум содержания всех солей (легкорастворимых и гипса) совпадает, что говорит об отсутствии сквозного промывания.

Аналогично складывается водный режим сероземов и под пашней. Промачивание начинается осенью и продолжается всю зиму благодаря периодическим оттепелям и отсутствию промерзания почвы. Максимальная глубина промачивания достигается в апреле или в первой половине мая. В начале апреля, а иногда и в конце марта начинается просыхание почвы сверху, в мае оно переходит в быстрое иссушение. Просыхание в одних случаях охватывает сразу всю почвенную толщу и происходит с более или менее одинаковой скоростью во всех ее слоях. В других случаях оно начинается сверху и постепенно распространяется вниз. Первый случай наблюдается обычно под многолетними и озимыми культурами, у которых к весне уже имеются хорошо развитые корневые системы. Второй случай характерен для яровых культур, у которых корни начинают развиваться только весной. Расходование влаги заканчивается в июне, в поверхностном слое мощностью 10—15 см влажность падает ниже максимальной гигроскопичности. В остальной почвенной толще влажность опускается до величины, равной влажности завядания.

Переходя к вопросам влагообеспеченности в пустынной зоне, следует прежде всего подчеркнуть положительный момент для условий жаркого лета — выпадение основной массы осадков в холодное время года. Благодаря такому распределению осадков значительная часть их усваивается почвой и вызывает ее довольно глубокое промачивание. Однако это усвоение не обходится без потерь. Как показывают многочисленные данные, на пашнях количество осадков, усвоенных почвой и пополняющих ее запас, составляет обычно 50—60% от общей их суммы за октябрь — март. Остальные 40—50% испаряются.

Следовательно, до начала апреля сумма осадков превышает сумму испарения и транспирации, а с начала апреля устанавливается обратное соотношение и запас начинает уменьшаться. Наблюдения в течение нескольких лет показали, что максимальная величина общего запаса доступной влаги равна 100—120 мм. Таким образом, в распоряжении растений остается 100—120 мм доступной влаги и все количество осадков, выпадающее в течение апреля — мая и достигающее на типичных сероземах 80—100 мм. Конечно, из этого последнего

количества эффективные осадки составляют лишь некоторую часть.

После достижения максимальной величины в начале апреля, запас доступной влаги начинает быстро уменьшаться и к июлю обычно приближается к нулю, т. е. дефицит влаги достигает своей наибольшей величины. Следует отметить, что при плохом уходе за посевами значительную часть влаги расходуют сорняки. Сорняки могут расходовать влагу и после уборки культуры. Так, в 1948 г. на Милютинской станции пшеница израсходовала 115 мм влаги из почвенного запаса, а сорняки и после ее уборки израсходовали еще 63 мм.

Недостаточное количество влаги и неравномерность выпадения осадков заставили искать пути повышения продуктивности использования осадков. Одним из простейших приемов, который дает заметный эффект, является осенний сев яровых культур в сухую почву. Прием рассчитан на то, чтобы посеянные семена могли использовать осадки, как только они начнут выпадать. Это повышает коэффициент их использования, позволяет растениям еще с осени развивать свои корневые системы. Весной, при возобновлении вегетации, такие растения используют почвенную влагу полнее и быстрее, чем только что посеянные. Насколько осенний сев яровых повышает урожай, видно из табл. 8.

Таблица 8

*Влияние срока посева на богарных сероземах на урожай пшеницы
(по данным Лавронова)*

Сроки посева	Урожай			
	Оп. ст. Джизак		Оп. ст. Каммаши	
	ц/га	%	ц/га	%
Осенне-зимние	11,0	100	8,5	100
Ранне-весенние	8,9	81	6,1	72
Средне весенние	8,0	73	5,6	66
Поздне-весенние	—	—	5,3	62
Поздние	4,7	42	4,5	53

Однако этот прием ненадежен. Во-первых, при посеве в сухую почву пашня имеет неблагоприятное грубоглыбистое состояние. Во-вторых, срок появления всходов

растягивается на очень продолжительный период — от ноября до января, в зависимости от времени выпадения осадков, их количества и температурного режима. Поэтому среднеазиатские опытные учреждения начали искать другие пути повышения урожайности богарных посевов.

Одним из наиболее распространенных способов повышения влагообеспеченности сельскохозяйственных растений и их урожайности считается, как мы знаем, чистый пар. Его применение на сероземах представляется целесообразным еще и потому, что он позволяет ввести в культуру биологически озимые сорта пшеницы, дающие значительно более высокие урожаи. Однако обычный чистый пар не дает необходимого эффекта, так как подвешенная влага из микроструктурных пылеватых сероземов испаряется очень легко. На Милютинской опытной станции чистый пар, совершенно свободный от сорняков, теряет с мая по сентябрь 189 мм влаги (табл. 9).

Таблица 9

*Баланс влаги на черном пару за вегетационный период 1943 г.
(Милютинская опытная станция)*

Слой, см	Запас влаги, мм		Изменение, мм
	9 апреля	20 октября	
0—50	123	60	—63
50—100	128	74	—54
100—150	62	70	+8
Итого:	313	204	—109
Осадки с 9 апреля по 20 октября			—80
Всего:			189

В то же время расход на пшеничном поле составил 195 мм, 63 мм было взято из почвы сорняками уже после уборки пшеницы. Таким образом, черный пар потерял почти столько же влаги, сколько израсходовала пшеница.

Из этого мы видим, что пар, свободный от сорняков, не оправдывает своего назначения. Если после уборки пшеницы провести лушение для уничтожения сорняков,

то запас влаги на нем ничем не будет отличаться от запаса на чистом пару. Поэтому понадобилось разработать новую систему приемов ухода за паром, которая позволила бы снизить потери влаги и сохранить в подповерхностных солях влажность, достаточную для прорастания семян. Такая агротехника применительно к богарным условиям была разработана на Милютинской и Красноводопадской станциях. Заключается она в следующем

После уборки урожая жнивье лущат как можно скорее для уничтожения сорняков. Основную вспашку проводят осенью, после достаточного промачивания почвы. Если осенью осадков мало, то вспашку отодвигают на зиму. Дальнейший уход за почвой в весенний период, когда продолжается еще выпадение осадков, заключается в поверхностном рыхлении почвы без оборота пласта, который ускоряет высушивание верхнего слоя почвы. Число обработок и их сроки должны быть согласованы с выпадением осадков. Рыхление должно проводиться культиваторами, лущильниками и т. д. после каждого обильного выпадения осадков, так как высыхая, сероземы образуют корку, способствующую дальнейшему иссушению. Затем пускают бороны и легкие катки, которые дробят крупные комки и устраняют излишнюю рыхлость, усиливающую потерю влаги. После прекращения осадков поверхность пашни никаким обработкам подвергаться не должна.

Такая система обработки пашни не предотвращает полностью потерю влаги, но способствует сохранению усвояемой влаги на глубине 10—15 см. Применяя бороздовой посев с глубиной борозд 3—6 см, семена можно уложить во влажную почву на глубину 7—9 см. Лучший срок посева — начало августа. Всходы появляются через 4—6 дней, и растения до зимы успевают развить мощную корневую систему, благодаря чему при наступлении благоприятных температурных условий они в состоянии сразу использовать влагу из всего корнеобитаемого слоя. При этом коэффициент использования зимних осадков растениями повышается до 80%. Этот метод при тщательном его применении позволяет получать урожай до 25—30 ц/га вместо 10—12 ц/га при осеннем посеве в сухую почву вместо 3—5 ц/га, составляющих обычный урожай на богаре.

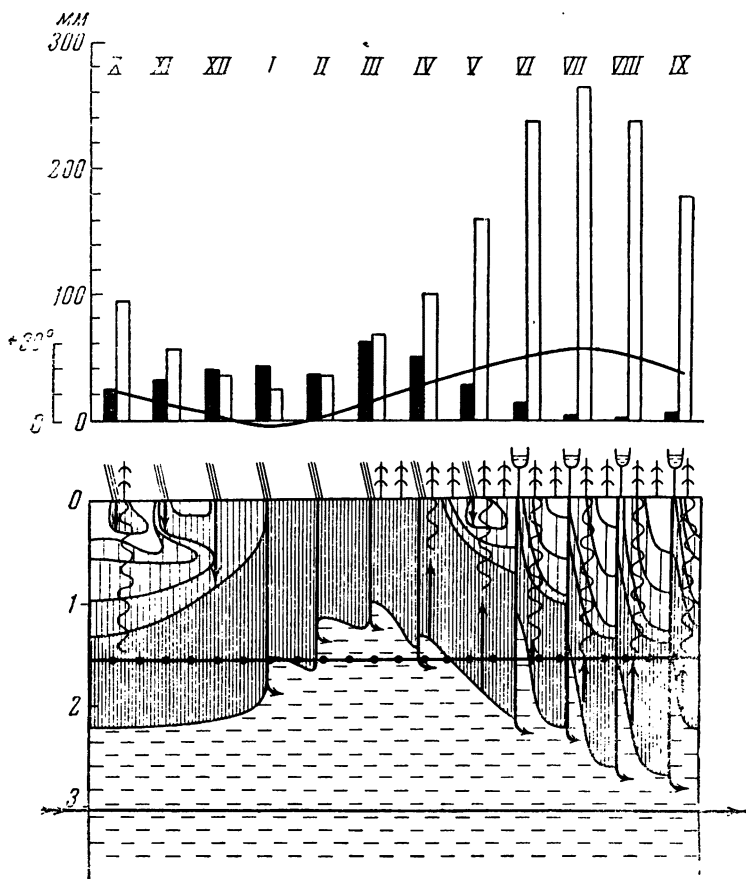


Рис. 18. Водный режим серозема при поливе

Обилие тепла в сероземной зоне и длительность вегетационного периода позволяют получать при достаточном количестве влаги очень высокие урожаи самых разнообразных культур, в том числе таких ценных, как хлопок, плодовые, виноград и т. д. Поэтому в сероземной зоне уже несколько тысячелетий применяется орошение.

На рис. 18 показан режим влажности поливного серозема. Его характерная черта — близкое к поверхности залегание уровня грунтовых вод и резкое его колебание

от 80 до 200 см. Колебания связаны с периодическими поливами, каждый из которых вызывает немедленный подъем уровня. В дальнейшем в результате испарения, десукции и оттока уровень грунтовых вод понижается. Вследствие близкого залегания грунтовых вод капиллярная кайма входит в почвенную толщу; создается режим постоянного капиллярного насыщения. Только верхний слой мощностью до 20 см может высыхать до влажности, соответствующей влажности завядания. Неглубокое залегание грунтовых вод нередко бывает результатом орошения. Дело в том, что на полях и в оросительных каналах при неумеренном и неконтролируемом орошении часть воды теряется, просачиваясь в грунт. В результате этого уровень грунтовых вод может подниматься на много метров. Этот подъем представляет собой явление крайне нежелательное. Не говоря уже о том, что он сопряжен с непроизводительной потерей драгоценной оросительной воды, грунтовые воды, поднимающиеся в почву, обычно бывают засолены. Когда их уровень или верхняя граница капиллярной каймы входят в толщу почвы, они подвергаются испарению и десукции и в почве начинают накапливаться соли. Возникает процесс вторичного засоления, который нередко достигает таких размеров, что охваченные им площади полностью теряют свое плодородие.

Во избежание вторичного засоления необходимо, во-первых, производить орошение строго по нормам, не допуская переполива. Во-вторых, постройку оросительной сети следует в некоторых случаях сопровождать постройкой дренажной сети, отводящей избыток вод, а с ними и значительное количество солей. В-третьих, при постройке оросительной сети следует сокращать или даже полностью прекращать фильтрацию из каналов. Наконец, необходимо соблюдать такую агротехнику, которая снижала бы потери влаги на физическое испарение.

В зоне пустыни (реже в зоне полупустыни) в условиях резкого преобладания испаряемости над осадками встречаются территории с более или менее близким к поверхности залеганием грунтовых вод аллохтонного происхождения — подгорные плато, шлейфы склонов, речные террасы и т. д. Грунтовые воды здесь часто засолены.

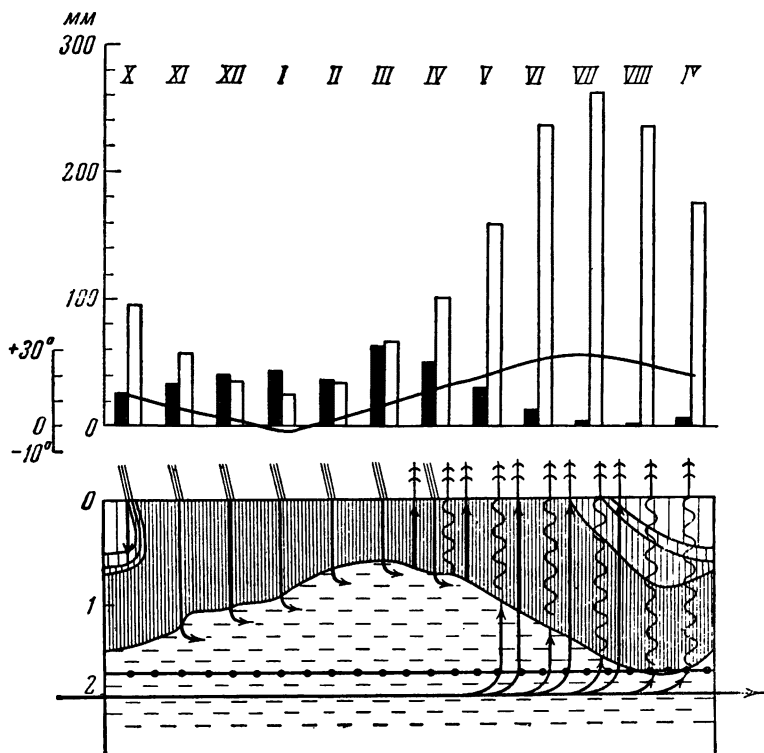


Рис. 19. Водный режим солончакового класса

В таких условиях при относительно более глубоких грунтовых водах создается десуктивно-выпотной, а при более близких — выпотной тип водного режима. Образующиеся при этом почвы всегда в той или иной мере засолены и представляют собою ряд, начинающийся луговыми слабо засоленными почвами и кончающийся солончаками и болотно-солончаковыми почвами. Степень засоления зависит от концентрации и состава солей в грунтовых водах, их глубины и быстроты притока, а также от мощности и состава растительного покрова.

В полупустынной и пустынной зонах при неглубоком залегании аллохтонных грунтовых вод обычно образуются

солончаки — почвы с большим содержанием солей (сернокислых и хлористых солей кальция, магния натрия).

На рис. 19 изображен водный режим солончакового класса, относящийся к выпотному типу. Грунтовые воды здесь засолены сильнее, лежат ближе к поверхности и скорость их притока больше. Благодаря этому здесь развивается более скудная растительность из специфических видов — солянок. Такая растительность отсасывает из почвы мало влаги, в силу чего уровень грунтовых вод понижается летом лишь на небольшую глубину, а капиллярная кайма большую часть года не отрывается от дневной поверхности. Значительную роль в водном режиме и балансе поэтому играет непосредственное испарение влаги из капиллярной каймы, что и вызывает значительное накопление солей в поверхностном слое почвы, т. е. образование солончака.

Заключение

Мы постарались изложить все те многообразные вопросы, которые относятся к поведению влаги в почве и водному режиму почв.

Из сказанного видно, что водный режим почв — важный фактор плодородия — представляет собою очень сложное явление, тесно связанное со многими разнообразными процессами, протекающими в природе — в атмосфере, в грунте и растениях. На страницах этой книги не удалось в полной мере показать географическое разнообразие, которое присуще водному режиму почв; рассмотрены лишь самые главные приемы регулирования водного режима почв.

Заканчивая книгу, мы надеемся, что она будет способствовать тому, что читатели заинтересуются этой сравнительно еще мало разработанной, но очень увлекательной главой почвоведения.

Приложение

Классификация типов водного режима

Тип и коэффициент увлажнения КУ	Подтип (по источникам питания влагой)	Класс (по характерным величинам влажности почвенного слоя в течение всего вегетационного периода)
Мерзлотный (с вечной мерзлотой) $KУ \approx 1$		Не разработана
Промывной $KУ > 1$	Атмосферного питания	Полного насыщения (болотный) Капиллярного насыщения (полуболотный) Периодического капиллярного насыщения (таежный) Сквозного наименьшего насыщения (южно-таежный) С близкими к поверхности автохтонными почвенно-грунтовыми водами насыщения
	Грунтово-атмосферного питания (с близкими к поверхности аллохтонными почвенно-грунтовыми водами)	Полного насыщения (грунтово-болотный) Капиллярного насыщения (грунтово-полуболотный) Периодического капиллярного насыщения (грунтово-таежный)
Периодически-промывной $KУ \approx 1$	Грунтово-атмосферного питания с дополнительным паводковым (с близкими к поверхности почвенно-грунтовыми водами, обычно аллохтонными)	Полного насыщения (пойменно-болотный) Капиллярного насыщения (пойменно-полуболотный) Периодического капиллярного насыщения (пойменно-таежный) Периодического капиллярного насыщения (лугово-лесостепной)
	Атмосферного питания	Чередующегося сквозного и несквозного наименьшего насыщения (лесо-степной)
Непромывной $KУ < 1$	Атмосферного питания с дополнительным поверхностным	Периодического капиллярного насыщения (лугово-потускулярный) Чередующегося сквозного и несквозного наименьшего насыщения (степной потускулярный)
	Атмосферного питания	Несквозного наименьшего насыщения (степной)

Тип и коэффициент увлажнения КУ	Подтип (по источникам питания влагой)	Класс (по характерным величинам влажности почвенного слоя в течение всего вегетационного периода)
Десузивно-выпотной КУ < 1	Грунтово-атмосферного питания (с близкими к поверхности аллохтонными почвенно-грунтовыми водами)	Периодического капиллярного насыщения (лугово-степной) Капиллярного насыщения (луговой)
Выпотной КУ < 1	Атмосферно-грунтового питания (с близкими к поверхности аллохтонными почвенно-грунтовыми водами)	Полного насыщения (болотно-солончаковый) Капиллярного насыщения (солончаковый)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Алпатыев А. М. Влагооборот культурных растений. Гидрометео-издат, 1954.
- Большаков А. Ф. Водный режим почв комплексной степи Каспийской низменности. Труды Почв. ин-та, т. 32. М.—Л., 1950.
- Большаков А. Ф. Водный режим богарных почв Узбекистана. Труды Почв. ин-та, т. 32, 1950.
- Большаков А. Ф. Водный режим мощных черноземов. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Васильев И. С. Водный режим подзолистых почв. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Васильев И. С. Водный режим дерново-подзолистых почв в травопольном севообороте. «Плодородие дерново-подзолистых почв». М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Вериго С. А. Динамика запасов почвенной влаги на территории СССР. Труды по с.-х. метеорологии, вып. 26. М., 1948.
- Высоцкий Г. П. Избранные сочинения, т. 1; 1962. т. 2 (в печ.), Изд-во АН СССР.
- Зонн С. В. Водный режим почв дубовых лесов. Труды Ин-та леса, т. 7, 1951.
- Измаильский А. А. Избранные сочинения. М., Сельхозгиз, 1949.
- Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Роде А. А. Водный режим почв и его типы. «Почвоведение», 1956, № 4.
- Роде А. А. Методы изучения водного режима почв. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Ротмистров В. Г. Сущность засухи по данным Одесского опытного поля. Одесса, 1911.
- Скородумов О. С. Вплив лісових насаджень на ґрунти в степу. Киев, 1959.
- Фальковский П. К. Круговорот влаги в почве под влиянием леса. «Почвоведение», 1935, № 5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	3
Введение	5
I. Водные свойства почв, категории и формы почвенной влаги, ее доступность для растений	9
Сорбционная способность почв и связанная влага	11
Водоудерживающая способность почв	13
Водопроницаемость почв	20
Всасывающая сила почв	23
Доступность почвенной влаги для растений	24
II. Элементы водного режима почв	29
Поступление атмосферных осадков	30
Поверхностный сток	33
Инфильтрация	36
Физическое испарение влаги из почвы	37
Десукция почвенной влаги растениями	43
Почвенный сток	47
Обмен влагой между почвой и грунтом	48
Замерзание и оттаивание почвы	52
Передвижение влаги в почве	58
III. Классификация водных режимов почв	61
Типы водного режима почв	61
Подтипы и классы водного режима почв	65

IV. Водный режим почв важнейших типов и его регулирование	73
Подзолистые и дерново-подзолистые почвы . . . / . . .	73
Болотные почвы	81
Лесостепные почвы	86
Степные черноземы	91
Почвы полупустынной зоны	102
Почвы пустынной зоны	105
Заключение	114
Рекомендуемая литература	117

Алексей Андреевич Роде

**Водный режим почв
и его регулирование**

*Утверждено к печати
редколлегией научно-популярной литературы
Академии наук СССР*

Редактор издательства *В. Н. Вяземцева*

Художник *Е. К. Манке*

Технический редактор *Н. Ф. Егорова*

Корректор *Г. И. Повар*

РИСО АН СССР № 43—160В. Сдано в набор 5/IV 1963 г.

Подписано к печати 19/VI 1963 г. Формат 84×108^{1/32}

Печ. л. 3,75—6,15 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 5,8

Тираж 12 000 экз. Т-06998. Изд. № 1590. Тип. зак. № 5641

Цена 17 коп.

Издательство Академии наук СССР

Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография Издательства АН СССР

Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
12	6 св.	самых	самих
24	20 св.	35	60
26	табл. гр. 4 10—11 сн.	микроструктурой	макροструктурой
46	5 св.	впадины	падины
48	16 св.	0,02°	0,02
64	18 сн.	слои	соли
110	5 св.	солях	слоях

А. А. Роде