

Кене Вернер

Учение о грунтовых водах

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
В35

В35 **Вернер К.**
Учение о грунтовых водах / Кене Вернер – М.: Книга по Требованию, 2023. – 196 с.

ISBN 978-5-519-88849-3

ISBN 978-5-519-88849-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг — не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель — вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания — решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

Первые попытки научно разработать вопрос о подземных водах производились еще в глубокой древности греками и затем постоянно повторялись. Однако долго господствовали еще неясные, путанные, не опирающиеся на факты понятия в этом вопросе. Только совсем недавно стала создаваться наука о подземных водах, основанная уже на планомерных наблюдениях.

В Германии производство наблюдений над подземными водами первоначально вызывалось чисто гигиеническими соображениями, они-то и положили начало науке о подземных водах. Дальнейший успех был достигнут однако только тогда, когда новый кадр инженеров-специалистов по водоснабжению положил начало вскрытию подных запасов для снабжения водой более значительных городов.

Наблюдения над подземными водами в широких размерах начали производиться вследствие потребности в них со стороны гидротехнического строительства и вследствие стремления землевладельцев обособить свои земли от убытков, когда соседними предприятиями, особенно горными разработками, отводилась с их участков грунтовая вода, вследствие чего иссякали их колодцы и высыхали их луга. Для получения полного представления о режиме грунтовых вод совершенно необходимо знакомство с геологическим строением, чему содействуют достигнутые за последние десятилетия успехи в геологических съемках 1 : 25 000.

Большое значение для науки о грунтовых водах имеет планомерное изучение соотношений между осадками, стоком и испарением. Изучение этих соотношений только и дало нам возможность выяснить роль подземных вод в общем водном хозяйстве материка. Таким образом у нас собралось уже достаточное количество знаний, имеющих существенное значение для рационального ведения водного хозяйства. Дальнейшее развитие науки о грунтовых водах вызвало в жизни целый ряд очень важных отдельных моментов. Прежде точно не знали, как подойти к самым трудным проблемам в вопросах подземной воды, и шли в этом направлении ощупью. Будущее принадлежит планомерным исследованиям и наблюдениям.

Настоящее изложение науки о грунтовых водах основывается главным образом на позднейших трудах по этому вопросу. Может быть заслуги более старых авторов недостаточно были мною отмечены. Но то, что выводы новейших авторов основаны на значительно более богатом фактическом материале, чем выводы прежних авторов, побуждает их ставить на первое место.

В. Кне.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

а) Пустоты и их отношение к воде

Горные породы как твердые, так и рыхлые только в редких случаях представляют собой совершенно плотную массу. В большинстве случаев они содержат более или менее мелкие и крупные пустоты, находящиеся в непрерывной связи между собой и наполненные водой или воздухом. От величины и расположения этих пустот зависят те пути, по которым водяные частицы могут циркулировать в земной коре. Пустоты в зависимости от их величины называются в горных породах пещерами, трещинами или порами. С пещерной водой мы имеем дело только в особых случаях, главным образом в известковых породах. Трещины встречаются чаще в плотных цементированных горных породах. Поры существуют как в плотных породах, так и в рыхлых. В некоторых из них, как например в глинах они очень мелкие. Однако в этом случае в верхней зоне земной коры, которую мы называем почвой, часто наряду с мелкими порами встречаются и более значительные пустоты, возникающие например от более или менее разложившихся остатков растений (рис. 1а). В гравии и песке форма пористой сети зависит главным образом от степени заполнения более мелкими зернами промежутков между более крупными зернами (рис. 1 б, в). Способы определения пористости изложены ниже в гл. VII. В рыхлых отложениях величина пористости очень значительна; в песках она составляет приблизительно 35%; в суглинках иногда бывает свыше

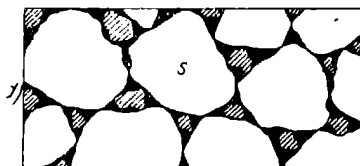
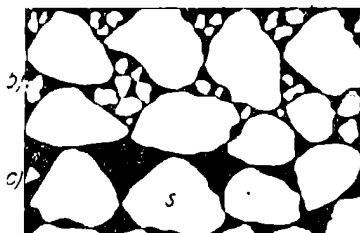
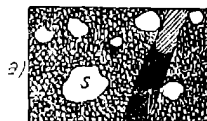


Рис. 1. Разрезы горных пород.

(Белое)—частицы пород.

(Черное)—вода.

(Штриховка)—воздух.

а) Глина. Мелкие частицы, песчинки. В порах содержится вода или воздух.

б) Песок. Между большими зернами заключены более мелкие, вследствие чего размеры пор уменьшаются. Поры наполнены водой.

в) Песок с большими порами, заполненными водой.

г) Песок, поры которого наполнены частью воздухом, частью водой.

50%¹, в глинах еще больше, а в торфе значительно выше 90%. Пористость может быть также довольно значительной и в галечниках, образующихся вследствие выветривания и разрушения плотных горных пород. В плотных горных породах пористость в большинстве случаев очень невелика, если не считать трещин и пещер. Исключение представляют собой некоторые виды пористых песчаников и пористые туфовидные известняки, и также некоторые горные породы возникшие из лавы.

На капельножидкую воду, содержащуюся в горных породах, действуют сила тяжести и молекулярное притяжение.

Сила тяжести побуждает воду просачиваться с поверхности земли в глубину, прокладывая себе путь в сторону, выступая на поверхность земли в виде родников и рек и пропитать в обыкновенные и артезианские колодцы.

Для передвижения воды в пещерах и трещинах значение имеет почти исключительно сила тяжести, причем здесь имеют силу обычные законы гидравлики. В порах, т. е. в более мелких пустотах, большую роль приобретает молекулярное притяжение, причем речь здесь идет как о притяжении между поверхностями пор горных пород и водой, так и о взаимном притяжении частиц воды между собой. Вследствие этого для движения воды в порах горных пород имеют действие иные законы, чем для движения поверхностных вод.

Вследствие молекулярного притяжения между частицами пород и водой прилипающая к первым пленка воды держится настолько крепко, что испарением при обычной температуре она целиком не удаляется и исчезает лишь приблизительно при 105°. Эта смачивающая горную породу водяная пленка слишком тонка, чтобы ее можно было видеть, вследствие чего горная порода, содержащая лишь такую пленочную воду, кажется сухой. Если слой пленочной воды вследствие сцепления частиц воды между собой становится толще, то горная порода имеет вид увлажненной и сырой².

Пористые горные породы, как например песок, обладают способностью независимо от силы тяжести впитывать в себя воду: здесь происходит процесс, аналогичный процессу при подъеме воды в уз-

¹ Надо отметить, что столь большие величины пористости для глинистых пород—явление довольно редкое *Прим. ред.*

² Автор здесь не различает двух основных видов воды, заключенной в воздушно-сухих или частично увлажненных породах: воды „гигроскопической“ и „пленочной“, или „молекулярной“ (по А. Ф. Лебедеву, Почвенные и грунтовые воды. Москва 1929).

Гигроскопической называется вода, содержащаяся в воздушно-сухой породе, она может заимствоваться сухой породой из паров воды, содержащихся в воздухе. Гигроскопическая вода может быть удалена из породы лишь высушиванием при температуре 105° Ц.

Вода пленочная соответствует более высокой степени влажности,—это вода, удерживаемая частицами грунта благодаря молекулярным силам. Она соответствует той влаге, которая остается в породе после удаления из нее воды, подчиняющейся силе тяжести,—воды капиллярной и гравитационной. Влажность такой породы называется „максимальной молекулярной влагемкостью“. *Прим. ред.*

кой капиллярной трубке. Поэтому такое свойство горных пород называется капиллярностью. Чем мельче поры, тем большее значение приобретает сила притяжения между частицами горных пород и водой, тем сильнее сопротивление, противопоставляющееся движению воды, и тем слабее становится, таким образом, водопроницаемость.

Проницаемость твердого тела в отношении жидкости, так же как и газов, зависит от давления, под которым они находятся. Так, воздух например под давлением в 60 000 ат может пропикнуть через сталь. В горных породах существует как абсолютная, так и гидравлическая непроницаемость. При этом гидравлически непроницаемой считается горная порода, которая при определенном давлении и в определенные промежутки времени не пропускает воду; однако при этом в ней не исключается молекулярное движение воды. Действительно непроницаемая горная порода и кажущаяся лишь таковой может совершенно не иметь пустот или может содержать изолированные пустоты, или же чрезвычайно мелкие соединенные между собой поры, удерживающие в себе воду. В последнем случае может наступить чрезвычайно медленное движение воды, которое придает горной породе практически непроницаемый вид.

Пустоты в горных породах являются непостоянными. Они подвержены изменению главным образом в верхней зоне, т. е. почве, благодаря действию корней растений и жизнедеятельности живых существ, находящихся в почве, а также вследствие размывающего действия проникающей туда воды. При изменении формы и размера пустот особую роль играет способность разбухания коллоидальных частиц, которые обуславливают сжатие горной породы во время высыхания, что происходит вследствие уменьшения объема пор¹. При увлажнении горная порода, не испытывающая слишком сильного давления, может вследствие увеличения объема пор снова расширяться.

В песчаных отложениях, а также в отложенных гравиях, объем пор можно считать, напротив того, постоянным.

В пустотах горных пород находят жидкости и газы, главным образом воду, воздух, нефть, углеводороды и углекислоту. В верхней зоне земной коры прежде всего различают верхнюю зону над уровнем грунтовых вод и более глубокую — под их уровнем. Это различие было ясно охарактеризовано Мейнцером («The occurrence of ground water in the United States»), который верхнюю зону назвал «зоной аэрации» — zone of aeration (U. S. Geolog. Survey, Water-Supply-Paper 489), а нижнюю «зоной насыщения» (zone of saturation).

б) Зона грунтовых вод, находящаяся ниже границы насыщения

Если предпринять бурение или заложить шахту в относительно проницаемой горной породе, то прежде всего встречается более или

¹ Явление сжатия глинистых пород при высыхании обуславливается согласно позднейшим исследованиям Терцаги отрицательным давлением, создающимся под капиллярной пленкой высыхающей воды. *Прим. ред.*

менее влажная почва, содержащая наряду с водой и воздух. Однако вода эта не поступает в шахту (рис. 1 *d*). При дальнейшем углублении замечается увеличение влажности, и в конце концов вода начинает проникать в шахту. По истечении некоторого времени в шахте устанавливается постоянный уровень воды, положение которого представляет собой границу двух главных зон. В зоне ниже уровня воды почти все поры горной породы наполнены водой: она насыщена ею. Если несколько буровых скважин пройдены настолько глубоко, что в них достигнут такой уровень воды, то можно эти отдельные свободные уровни воды связать одной общей поверхностью, которую мы называем «зеркалом грунтовых вод» (рис. 2). Это зеркало образует верхнюю границу грунтовых вод. То же определение этого понятия вводит и Павел Ранге (Paul Range), который пишет: «Грунтовыми водами являются все воды, встречающиеся в толще земной коры и содержащиеся в горных породах в таком состоянии, что они

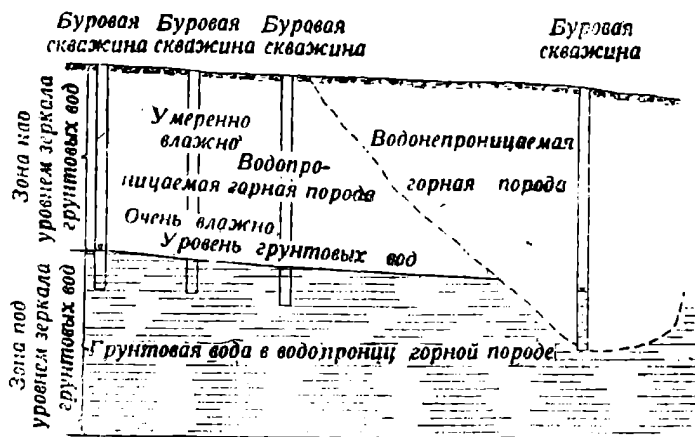


Рис. 2. Уровень воды в буровых скважинах в водонепроницаемых горных породах указывает на положение уровня грунтовых вод. Он представляет границу между зоной, лежащей над уровнем грунтовых вод и зоной, лежащей ниже этого уровня.

могут снова в капельножидком виде выступать на поверхность». Весьма правильным является также определение, данное Цункером (Zunker): «Грунтовой водой называется та подземная вода, которая наполняет целиком пустоты почвы и приходит в движение под влиянием уклона. Зеркало грунтовых вод определяется по установившимся уровням в буровых скважинах».

Во избежание неправильного понимания следует заменить выражение пустоты почвы «пустотами горных пород», так как Цункер относит к грунтовым водам также воды, находящиеся на более значительных глубинах.

Приведенные здесь определения понятия грунтовых вод уже давно приняты, в Германии как в науке о воде, так и в сельском хозяй-

стве, технике и в водном строительстве. В Америке член Геологического комитета Мейнцер тоже принимает это определение. Нужно думать, что определение грунтовой воды Кейльгака, Принца и Штейера, отличающиеся от вышеприведенного, скоро потеряют всякое значение. Кейльгак в своем руководстве «Учение о грунтовых водах и источниках»¹ определяет это понятие следующим образом: «Под грунтовыми водами в противоположность поверхностной воде мы понимаем всю находящуюся под земной поверхностью капельножидкую воду, проникающую туда естественными путями». Таким образом согласно этому определению Кейльгак должен был также отнести воду, находящуюся над уровнем зеркала грунтовых вод, к грунтовым водам. Однако из его дальнейших выводов видно, что он этого не делает; в действительности он думает так же, как и мы, и лишь не точно формулировал свое определение.

Штейер имел в виду в 1907 г. назвать воду, находящуюся под уровнем зеркала грунтовых вод, «почвенной водой», причем он разделил последнюю на воду трещин, пластовую, инфильтрационную и грунтовую. Под инфильтрационной водой Штейер понимает воду, просачивающуюся сверху, но не приобретшую еще свойств грунтовых вод. Он распространяет таким образом понятие «инфильтрационная вода» на воду, находящуюся в зоне под уровнем грунтовых вод, что должно быть признано неправильным. Термин «почвенная вода» в штейеровском смысле совершенно ошибочен. Под почвой понимают самую верхнюю, захваченную биологическими процессами зону земной коры, которая по общему правилу лежит над уровнем воды, т. е. над грунтовыми водами. Привычный термин «грунтовая вода», поэтому гораздо целесообразнее штейеровского «почвенная вода».

Исходя из основного положения о питьевой воде, Принц также принимает это понятие односторонне, ограничивая его водой, находящейся в фильтрующих породах и, наоборот, всю воду в некапиллярных пустотах относит к подземным водотокам. Здесь он впадает в противоречие с прусским водным законом, который вполне целесообразно узко ограничил понятие о подземных водотоках как участка перемежающихся поверхностных водотоков, текущих местами «подземным путем». Точно так же нецелесообразно предложенное Кейльгаком ограничительное добавление о том, что под грунтовыми водами следует понимать только такие воды, которые проникли в земную кору естественным путем. В настоящее время влияние человека на режим грунтовых вод настолько велико, что в некоторых случаях нельзя отличить искусственные пути воды от естественных. Повышение уровня грунтовых вод имеет место например при искусственном орошении, где разделение естественной воды от искусственной невозможно.

Бывают случаи, когда над глубоко залегающим обширным водоносным пластом лежит другой водоносный слой, более ограниченного протяжения, который отделяется от первого толщей, не насыщенной водой. Тогда воду в нижнем пласте мы называем «главными грунтовыми водами с главным зеркалом грунтовых вод»; воду же в

¹ 2-е изд., 1917 г., стр. 67.

верхнем слое — «висячими грунтовыми водами» (perched water body) (рис. 3). Иногда в литературе вместо термина «висячие грунтовые воды» можно встретить выражение «ложные грунтовые воды».

Если в зоне ниже уровня грунтовых вод встречаются непроницаемые тела, то они задерживают проникновение грунтовых вод. Если пробурить такое непроницаемое тело, то вода поднимается снизу по буровой скважине, уровень которой установится приблизительно на высоте уровня грунтовых вод (рис. 2).

В зоне под уровнем зеркала грунтовых вод в некапиллярных пустотах вода движется с большой легкостью, тогда как в капиллярных пустотах она должна преодолевать большие или меньшие сопротивления.

По общему правилу уровень грунтовых вод не горизонтален, но имеет слабый наклон. В связи с этим возникает движение воды в направлении главного падения. При этом вода выбирает тот путь, на котором она должна преодолеть наименьшее сопротивление. Поэтому в более проницаемых пластах, если они залегают горизонтально, она течет так же, приближаясь к горизонтальному направлению, как на-

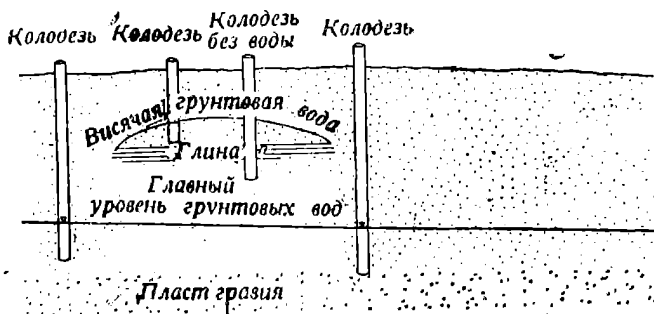


Рис. 3. Висячие грунтовые воды над глинистым прослоем. Неглубокий колодезь берет воду, высыхающую во время засухи. Под глинистым слоем следует зона, содержащая воздух. Фильтр среднего колодезца помещен в этой последней; колодезь не дает воды. Оба глубоких колодезца достигли главного уровня грунтовых вод.

пример в пластах гравия, представленных на рис. 3. В менее проницаемых слоях, расположенных над пластами гравия, вода движется вниз, если давление воды в пластах гравия меньше, чем в пластах, расположенных выше.

Если же давление воды в пластах гравия сильно увеличится, то вода из них выступает в лежащие сверху пласты и поднимает с течением времени уровень грунтовых вод.

Глубина уровня зеркала грунтовых вод под поверхностью земли в Соединенных штатах Северной Америки составляет согласно данным Мейнцера в большинстве случаев меньше 30 м; однако она может достигать и сотни метров. В равнинах Германии преобладают уровни зеркала грунтовых вод, расположенные на глубине 10 м. В гористых же областях встречаются также и более значительные глубины.

Вблизи Бертарслевской пещеры в Карсте (Истрия) уровень грунтовых вод лежит на 450 м ниже поверхности земли. Здесь вода с поверхности испаряется по пещерным или карстовым ходам.

В глубине педры земной коры присутствие подземных вод имеет пределы, так как горные породы на больших глубинах вследствие огромного давления лишены каких-либо пустот. По Мейндеру в кристаллических горных породах грунтовые воды находили в большинстве случаев на глубине до 100 м, в пористых горных породах до 600 м и иногда даже до 2 000 м.

с) Зона над уровнем грунтовых вод с содержанием пленочной и инфильтрационной воды

Зона, расположенная над уровнем зеркала грунтовых вод, названа Мейндером «зоной аэрации», так как она содержит преимущественно воздух.

Однако и в этой зоне, особенно непосредственно над уровнем зеркала грунтовых вод, могут встретиться в горной породе поры, лишенные



Рис. 4. Разделение зоны, лежащей над уровнем грунтовых вод на: почву, промежуточный слой и капиллярную зону.

воздуха. Поэтому я не пользуюсь этим термином. Зона эта, расположенная над уровнем грунтовых вод, распадается в порядке сверху вниз на три подзоны: почва, промежуточный пласт и капиллярная зона (рис. 4).

Почвой является верхняя зона земной коры. В общем нужно считать, что почва простирается до той глубины, до которой достигают кончики корней растений. Капиллярной зоной называется та зона над самым уровнем грунтовых вод, в которой задержится вода вследствие капиллярного подъема. К капиллярной зоне мы относим таким образом только ту воду, которая всегда находится в непосредственной связи с поверхностью грунтовых вод, но отнюдь не всю воду, которая удерживается в зоне, расположенной над уровнем грунтовых вод силой молекулярного притяжения.

Если уровень грунтовых вод поднимается, то вместе с ним поднимается также и капиллярная зона; если же уровень падает, понижается также и капиллярная зона.

Воду, находящуюся над уровнем грунтовых вод, мы называем пленочной водой, если она настолько сильно связана молекулярным притя-

жением, что сила тяжести не может извлечь ее из породы или привести в движение. Наибольшее количество воды, которое может удерживать в себе таким образом единица массы грунта над капиллярной зоной, мы называем максимальной молекулярной влагоемкостью¹.

Количество молекулярной или пленочной воды в естественном грунте совпадает приблизительно, но не совсем точно с «влагоемкостью», определенной лабораторным путем на отдельных маленьких пробах. Пленочная и отчасти капиллярная вода наполняет мелкие поры, увлажняет поверхности стенок у более крупных пор и образует мениски в углах между песчинками (рис. 1 d).

Если в зоне над уровнем грунтовых вод имеются некапиллярные пустоты или если в капиллярных пустотах сила тяжести превышает молекулярную силу, то вода стекает вниз, причем в большинстве случаев она должна выбирать довольно извилистый путь. Воду, просачивающуюся в глубину, мы называем инфильтрационной водой. При этом надо помнить, что термин инфильтрационная вода применим только для воды, находящейся в зоне над зеркалом грунтовых вод. Как только просачивающаяся вниз вода проникает ниже уровня грунтовых вод, она является уже не инфильтрационной, а грунтовой водой.

В капиллярной зоне в некапиллярных пустотах находится воздух; в капиллярных же порах его нет или почти нет. Таким образом в этой зоне горная порода находится в состоянии насыщения или переходит в это состояние.

Если надкапиллярная зона отсутствует, то почва соприкасается с капиллярной зоной, вследствие чего корни растений могут воспринимать воду из последней. Таким образом они забирают непосредственно грунтовые воды и являются фреатофитами. Такого рода поглощение грунтовых вод растениями может носить постоянный характер в засушливых областях, если они имеют постоянный приток грунтовых вод с соседних высот, богатых осадками; в сырых же областях, например в Германии, это явление ограничивается лишь летними месяцами.

Высота капиллярного подъема над уровнем грунтовых вод зависит не только от свойств горной породы, но и также от потребления воды растениями. Если растения поглощают часть медленно поднимающейся капиллярной воды, то высота подъема, которая могла бы быть возможной без потребления воды растениями и при отсутствии испарения в этом случае не может быть достигнута. Вследствие этого мы нередко наблюдаем в природе, что бросающаяся в глаза влажность уже на высоте 50—60 см над уровнем грунтовых вод исчезает даже в таких почвах, в которых по лабораторным исследованиям можно было ожидать более значительный подъем последней.

Таким образом лабораторные опыты над капиллярным подъемом имеют лишь ограниченное значение. Точное понятие мы получим лишь посредством самых первоначальных, планомерных измерений содержания воды в горных породах (гл. VII).

¹ Здесь применен нами термин, установленный в русской литературе проф. А. Ф. Лебедевым. *Прим. ред.*