

Н. Я. ДЕНИСОВ

**О ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ
ВЛАГИ ГЛИНИСТЫМИ ПОРОДАМИ***(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 26 VI 1947)*

Характернейшей особенностью глинистых пород, отличающей их от всех иных отложений, являются значительные размеры поверхности слагающих их частиц. С этой поверхностью, являющейся ареной проявления чрезвычайно важных физико-химических процессов, называемых поверхностными, физически связывается значительное количество влаги. Эта влага не обладает способностью передавать гидростатический напор, и возможность движения воды в глинистых породах под влиянием силы тяжести осуществляется лишь тогда, когда их влажность превысит значение, характеризующее максимальное количество связанной влаги. В качестве характеристики максимального количества связанной влаги с некоторой условностью может быть принято значение максимальной молекулярной влагоемкости по Лебедеву ⁽²⁾. Влага, содержащаяся в глинистых породах в количестве, меньшем значения максимальной молекулярной влагоемкости, составляет „мертвые“ ее запасы. Эта влага в той или иной мере может быть удалена из пород лишь при существенном изменении условий их существования, вызываемом увеличением испытываемого ими давления или появлением возможности испарения влаги. Поэтому глинистые породы в обычных условиях поверхностной зоны могут рассматриваться как аккумуляторы значительных количеств влаги, исключаемой на геологически длительные сроки из пределов гидросферы.

Вопрос об образовании связанной влаги представляет не малый интерес и его рассмотрение целесообразно объединить с вопросом образования осадочных пород. Осадочные породы возникают в результате накопления продуктов разрушения ранее существовавших горных пород. Накопление осадков, в большей мере механических и в меньшей химических и органогенных, приводит к образованию в значительном количестве рыхлых пород, сопровождающемуся связыванием влаги. В процессе разрушения горных пород, переноса продуктов этого разрушения и осадения, материя не могла исчезать и подвергалась лишь трансформации. Поэтому суммарный объем осадков, отлагавшихся в течение того или иного геологического времени, должен существенно превышать объем разрушенных пород. Грубое представление о соотношении этих объемов можно получить следующим путем. Примем, в соответствии с Кларком ⁽³⁾, что среди осадочных пород 80% объема представлены породами глинистыми, 15% песками и 5% известняками. Несложные вычисления показывают, что при пористости глинистых пород в 50%, песков в 30% и известняков в 10%, для образования 100 м³ осадочных пород в указанном соотношении достаточно разрушения лишь 55 м³ кристаллических пород. С учетом химических изме-

нений минеральных масс, происходящих при выветривании (химическая гидратация и пр.), отмеченная разница в объемах будет еще более существенной.

На протяжении геологической истории Земли относительное значение осадочных пород в строении поверхностной части литосферы существенно повышалось. Следовательно, с течением геологического времени объем земной коры мог возрастать за счет перехода материи из первоначально более плотного ее состояния в менее плотное со связыванием воды.

Приводящие к накоплению влаги в пределах литосферы процессы адсорбции по отношению ко времени образования глинистых пород могут быть разделены на сингенетичные и эпигенетичные. Процессы сингенетичные характерны для отложений водного происхождения (морских, озерных, речных), гляциального и делювиально-пролювиального. В породах эолового происхождения процессы адсорбции являются эпигенетичными. Следует отметить, что при накоплении делювиально-пролювиальных отложений в условиях сухого климата связанная вода могла испариться сейчас же, после накопления той или иной части толщи. Поэтому связанная влага, имеющаяся в этих отложениях в настоящее время, могла появиться в результате эпигенетичных процессов адсорбции. В период накопления глинистых осадков в водном бассейне свободная влага преобладает в порах этих осадков над влагой связанной. По мере уплотнения осадка все большее и большее относительное значение приобретает влага связанная.

Уменьшение количества содержащейся в глинистых породах связанной влаги может быть следствием как механического ее удаления при увеличении испытываемого породами давления, так и испарения. В геологической истории образования многих глинистых пород дочетвертичного возраста процессы дегидратации играли весьма большую роль, и в их осуществлении одновременно проявлялось влияние обоих указанных выше факторов.

Вода, освобождаясь в результате подобной дегидратации в жидком или парообразном состоянии, поднимается к поверхности земли и вновь поступает в гидросферу, питая подземные воды и образуя источники, обычно рассматриваемые как ювенильные. Отмеченное выше увеличение объема осадочных пород, происходящее на протяжении геологической истории Земли, свидетельствует о том, что процессы дегидратации не компенсируют процессов гидратации. Иначе говоря, в истории Земли происходит систематическое увеличение объема связанной воды в пределах литосферы за счет некоторого уменьшения объема гидросферы.

В весьма многих глинистых породах вся или почти вся влага находится в связанном состоянии. Так, естественная влажность юрских глин района г. Москвы равна примерно 35%, нижнемеловых глин Поволжья — 28—32%, моренных суглинков — 12—15%. Естественная влажность субаэральных лессов Восточного Предкавказья до глубины 20 и более метров не превышает 13—14%. Все приведенные цифры несколько меньше значений максимальной молекулярной влагоемкости этих пород.

Приближенное представление о количестве влаги, находящейся в настоящее время в глинистых породах литосферы в физически связанном состоянии, можно получить следующим путем. Примем, в соответствии с Кларком (3), объем литосферы в 6 800 млн. км³. Объем осадочных пород, составляющих 5% объема литосферы, равен 340 млн. км³, а объем глинистых пород, соответственно, 270 млн. км³. Вес глинистых пород при объемном весе, равном 2, составит 54 · 10¹⁶ т. Примем, что среднее для всей толщи глинистых пород содержание физически связанной влаги с учетом широкого распространения пород,

потерявших значительную часть таковой, составляет 2⁰/₀. Общее количество такой влаги составит 11 млн. км³. Хотя эти цифры и весьма невелики по сравнению с объемом гидросферы (1300 млн. км³), для сопоставления напомним, что, по Мейнардусу (1), годовое количество осадков на поверхности суши составляет 99 000 км³, а ежегодный сток 37 000 км³. Так как нас может интересовать лишь порядок цифр, отображающих общее количество связанной влаги, то неизбежные неточности выбора расчетных величин не могут существенно сказаться на результатах вычислений. Если вспомнить, что поверхность суши составляет 150 млн. км², то указанное количество физически связанной влаги смогло бы образовать над сушей сплошной слой воды мощностью в 66 м.

О количестве влаги, перешедшей в химически связанное состояние при образовании осадочных пород, можно получить представление следующим путем. Приняв (3) среднее содержание воды в изверженных породах в 1,15⁰/₀ и в осадочных в 4,3⁰/₀, найдем, что в химически связанное состояние перешло примерно 26 млн. км³ воды. Таким образом, общее количество воды, изъятой из гидросферы на протяжении существования земной коры, составляет 37 млн. км³.

Возможность высушивания покровных отложений в летнее время в наших широтах ограничена глубинами, не превышающими 2—3 м, ниже которых влажность является устойчивой и отображает климатические условия не какого-нибудь отдельного года, а более или менее длительного периода. И только изменение климатических условий в сторону повышения их сухости, ощущаемое на протяжении длительного времени, может привести к понижению влажности пород на значительную глубину.

В пределах Европейской части СССР по направлению с севера на юг и юго-восток наблюдается закономерное понижение влажности покровных отложений, залегающих выше уровня грунтовых вод, в зоне аэрации. Если оценивать влажность этих отложений в виде отношения величины естественной влажности к значению максимальной молекулярной влагоемкости (обозначим это отношение K), то величина этого отношения, равно как и степень заполнения пор водою g в указанном направлении понижаются. Так, для районов вечной мерзлоты величина K обычно превышает единицу, а величина g близка к единице. В пределах средней полосы значение K приближается к единице, с некоторым падением и величины g . На юге УССР и в пределах Ростовской области величина K несколько меньше единицы, а значение g изменяется в пределах 0,4—0,6. Для лессов Восточного Предкавказья величина K снижается до 0,6—0,7, величина g — до 0,4 и меньше.

Таким образом, вся содержащаяся в лессах и лессовидных суглинках юга и юго-востока влага находится в связанном состоянии. Особенно важно то, что способность этих отложений связывать влагу в современных условиях использована не полностью. Потенциальная емкость подобных отложений, при средних величинах максимальной молекулярной влагоемкости порядка 20⁰/₀ и объемного веса 1,5, при мощности в 10 м, равна 3 м³ на 1 м² площади, что составляет примерно семилетнюю сумму атмосферных осадков.

Как указывалось выше, количество связанной влаги в толще пород субэраального происхождения с течением времени может возрастать. Повышение содержания такой влаги может быть следствием того, что некоторая часть атмосферных осадков, выпадающих на поверхность земли, не успев испариться, проникает на некоторую глубину, где и происходит утолщение пленок связанной влаги. Такое явление характерно для участков, занятых „степными блюдцами“, а также для орошаемых площадей Заволжья, Северного Кавказа, Средней

Азии и др., в пределах которых влажность пород на значительную глубину устойчиво выше, чем в пределах прилегающих массивов. В многолетний гидрологический баланс подобных территорий должны быть включены потери воды, переходящей в связанное состояние и выходящейся при данных климатических и гидрологических условиях из круговорота. С учетом вышеизложенного уравнение многолетнего водного баланса следует представить в следующем виде:

$$x = y + z + q,$$

где x — осадки, включая и конденсацию водяных паров; y — сток поверхностный и подземный; z — испарение; q — переход в связанное состояние.

Член q этого уравнения может иметь следующие значения.

$q = 0$: а) в областях распространения скальных пород; б) в областях распространения пород с $K \gg 1$; в) в областях с неизменными условиями сухого климата, при которых вся проникающая в породы вода расходуется на испарение.

$q > 0$: а) в областях распространения пород с $K < 1$, когда часть проникающей в породы влаги ускользает от испарения; б) в процессе образования осадочных отложений.

$q < 0$: а) при повышении сухости климата, вызывающей испарение связанной влаги.

Следует отметить, что многолетний водный баланс может существенно изменяться в результате инженерной деятельности человека. Так, развитие орошения, особенно напуском, в районах распространения пород с $K < 1$ неминуемо приводит к выключению из круговорота значительных количеств воды. Так, например, при повышении влажности покровных отложений с объемным весом в 1,5, за счет связанной воды, на 10%, в пределах толщи мощностью в 1 м из круговорота будет выключено 150 м³ воды на 1 га.

Застройка обширных территорий на юге, в районах широкого распространения лессов и лессовидных суглинков приводит к тому, что под сооружениями на протяжении значительной части города породы имеют более низкую температуру, чем вне сооружений. Это обстоятельство при хорошей газопроницаемости лессов создает благоприятные условия для конденсации водяных паров. Уменьшение роли испарения под сооружениями обуславливает возможность сохранения и накопления влаги, выходящейся из круговорота. Подобная картина характерна для многих заводских и прочих сооружений, выстроенных на юге и юго-востоке СССР.

Способность физически адсорбировать воду и выключать ее из круговорота в одних климатических условиях и вновь отдавать ее в других позволяет рассматривать зону аэрации покровных глинистых отложений юга и юго-востока СССР (лессы и лессовидные суглинки) как фактор, зависящий от климатических условий и влияющий на таковые. Так, при повышении влажности климата будет происходить аккумуляция воды в связанном состоянии, при повышении сухости климата будет происходить расходование ранее созданных запасов влаги, приводящее к повышению влажности климата.

Московский инженерно-строительный институт
им. В. В. Куйбышева

Поступило
17 V 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. В. Близняк и Б. В. Поляков, Инженерная гидрология, М., 1939.
² Н. Я. Денисов, О природе просадочных явлений в лессовидных суглинках, М. 1946. ³ А. Е. Ферсман, Геохимия, 1, М.—Л., 1934.