

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ С ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩИМИ РАСТВОРАМИ

*Г.Б. Бахмагамбетова*

Рассматривается влияние насыщения дисперсными частицами выщелачивающего раствора при фильтрации на процесс выщелачивания забалансовых руд в отвалах и кучах.

*Ключевые слова:* дисперсные частицы; выщелачивающие растворы; молекулярные силы.

Взаимодействие мелкодисперсных частиц разрушенной массы с раствором обусловлено существованием электромолекулярных сил. При сближении атомов или микроскопических тел на расстоянии до перекрытия волновых функций между ними возможно взаимодействие благодаря молекулярным силам. Возникновение молекулярных сил объясняется существованием полярных и неполярных молекул, так как в составе атомов и молекул имеются положительно заряженные ядра и отрицательно заряженные электроны.

Проявление молекулярных сил обусловлено тремя эффектами, которые имеют электрическую природу: взаимодействием молекул с жесткими диполями (ориентационный эффект); взаимодействием с жесткими и индуцированными диполями (индукционный эффект); взаимодействием между неполярными молекулами (дисперсионный эффект) [1, с. 1151–1155].

Взаимодействие молекул воды, спирта, фенола и т. д. обусловлено существованием у них постоянного дипольного момента и относится к ориентационному эффекту. При низких температурах энергия взаимодействия двух полярных молекул определяется формулой

$$u_0 = \frac{2P_1P_2}{r^3}, \quad (1)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – соответственно дипольные моменты молекул;  $r$  – расстояние между центрами диполей;  $u_0$  – энергия взаимодействия молекул. При этом сила взаимодействия будет обратно пропорциональна четвертой степени расстояния.

Индукционный эффект наблюдается при взаимодействии полярных и неполярных молекул и атомов. Под влиянием полярной молекулы или атома происходит смещение положительных и отрицательных зарядов в неполярной молекуле в противоположные стороны, т. е. происходит ее поляризация. В результате этого неполярная молекула приобретает некоторый дипольный момент. Потенциальная энергия взаимодействия полярной и неполярной молекул, поляризуемость которой  $\alpha_2$ , выражается уравнением

$$u_u = \frac{\alpha_2 P_1}{r^6}. \quad (2)$$

Притяжение неполярных молекул происходит за счет мгновенных диполей и носит квантомеханический характер. Возникновение мгновенных диполей обусловлено тем, что при движении электронов центр отрицательного заряда атома будет постоянно смещаться относительно ядра. Флуктуация дипольного момента порождает флуктуацию электрического поля, которая, в свою очередь, вызывает смещение заряда у соседних атомов. Сила, действующая со стороны флуктуирующего поля на смещенный заряд, не равна нулю, так как флуктуирующее поле стремится быть ориентированным одинаково. Вследствие этого и возникает дисперсионный эффект, который выражается уравнением

$$u_g = \frac{3 \alpha^2 h \nu_0}{4 r^6}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – поляризуемость;  $h$  – постоянная Планка;  $\nu_0$  – частота колебаний электрического осциллятора;  $u_g$  – энергия взаимодействия.

Для двух последних эффектов сила взаимодействия молекул или атомов изменяется обратно пропорционально седьмой степени расстояния.

Роль каждого эффекта в суммарной энергии взаимодействия двух молекул может быть различной. Дисперсионный эффект имеет наибольшее значение, а значения ориентационного и индукционного эффектов зависят от величины дипольных моментов и, в большинстве случаев, весьма незначительны.

У частиц, состоящих из множества атомов и молекул, взаимодействие отдельных атомов складывается, в результате чего энергия взаимодействия двух частиц изменяется уже не обратно пропорционально шестой степени расстояния между ними, как это следует из формул (2) и (3), а более сложной зависимостью. Для двух плоских поверхностей с зазором менее  $10^{-8}$  м и более  $4 \cdot 10^{-8}$ – $5 \cdot 10^{-8}$  м энергии взаимодействия соответственно указанным расстояниям уменьшается обратно пропорционально второй и третьей степеням [2].

Расстояние между молекулами жидкости и твердой частицы, взаимодействующими между собой, значительно меньше расстояний, соприкасающихся между собой твердых частиц. Поэтому в зависимости от размеров и природы вещества частицы возникают силы взаимодействия, характер которых обусловлен одним или всеми из изложенных выше эффектов. В качестве примера рассмотрим взаимодействие воды с частицами горной массы. Вода, как уже отмечалось, состоит из полярных молекул с ионами водорода и кислорода, соответственно заряженных положительно и отрицательно. При взаимодействии воды с частицей пыли происходит поляризация ее молекул и ориентация диполей в электрическом поле частиц.

Диэлектрическая постоянная минеральной частицы значительно меньше диэлектрической постоянной среды, что приводит к возникновению электрического поля на ее поверхности и притяжению к ней диполя воды. При этом следует отметить, что силы притяжения действуют на весьма близких расстояниях от поверхности частицы и быстро убывают с расстоянием.

Распределение диполей воды вблизи твердой частицы происходит под влиянием электростатического поля и при наличии теплового движения. Электростатические силы как бы концентрируют диполи вокруг твердой частицы, в то время как силы молекулярного теплового движения стремятся распределить их равномерно по раствору. В результате действия этих двух сил вокруг твердых частиц устанавливается равновесие. Слой диполей, распределяющихся под действием этих сил, представ-

ляет собой диффузионный или лиосорбционный, в отличие от адсорбционного, слой, который образуется диполями, расположенными непосредственно около твердой частицы. Резкой границы между этими двумя слоями не существует. Поэтому установление толщины каждого слоя по отдельности как теоретически, так и экспериментально, трудно осуществить. В курсе коллоидной химии этот суммарный слой называют двойным электрическим слоем, а саму частицу с адсорбционным и диффузионным слоями называют мицеллой.

При классификации видов влаги в почвах и грунтах академик А.Ф. Лебедев выделяет обволакивающий частицу слой воды как пленочную воду и называет максимальной молекулярной влагоемкостью [3].

Молекулы воды, непосредственно окружающие частицу навала, как видно из формул (1)–(3), подвержены большим силам притяжения на малых расстояниях. Они настолько сильно связаны с поверхностью частиц, что их не удается отделить даже центрифугированием с ускорением, превосходящим ускорение свободного падения в несколько десятков тысяч раз. Это означает, что увеличивается объем твердой фазы выщелачиваемой кучи и сокращается объем ее пор. В связи с этим изменяются гранулометрический состав и структура обрушенной горной массы, увлажненные выщелачивающим раствором.

При адсорбции из выщелачивающего раствора на твердом теле различают два случая: адсорбцию неэлектролитов и электролитов. Когда молекулы растворенного вещества адсорбируются на поверхность твердой частицы, то это соответствует адсорбции неэлектролитов, а при избирательной адсорбции одного из ионов электролита – адсорбции электролитов.

На адсорбцию из растворов сильно влияет и структура адсорбента. Неполлярные адсорбенты лучше адсорбируют неполярные молекулы раствора, а полярные адсорбенты – полярные адсорбтивы.

Химическая природа адсорбтивов по разному влияет на его способность адсорбироваться на твердом теле, так как адсорбируемость зависит от природы адсорбента и воды, которые могут быть и неполярными веществами. Однако важным правилом в этом отношении является известное правило уравнения полярности, сформулированное П.А. Ребендером. В соответствии с этим правилом вещество *C* может адсорбироваться на поверхности раздела фаз “адсорбент” и “вода”, если оно в результате своего присутствия в поверхностном слое будет уравнивать разность полярностей фаз между адсорбентом и водой. Адсорбция будет идти, если ди-

электрическая проницаемость  $\varepsilon_c$  вещества  $C$  будет лежать между диэлектрической проницаемостью адсорбента  $\varepsilon_a$  и воды  $\varepsilon_w$ , т. е. если будет соблюдаться условие  $\varepsilon_a > \varepsilon_c > \varepsilon_w$  или  $\varepsilon_w > \varepsilon_c > \varepsilon_a$ .

Таким образом так же, как и в воде, мелкодисперсные частицы образуют мицеллы в водных растворах кислот и щелочей. При этом концентрации кислот должны быть меньше критической концентрации мицеллообразования (ККМ). При концентрации раствора ниже ККМ уменьшаются размеры мицелл, однако такое изменение экспериментально установить практически невозможно. С добавлением в воду кислот происходит значительное изменение поверхностного натяжения, которое влияет на смачиваемость твердых тел растворами, которая определяется косинусом краевого угла смачивания.

Смачивание характеризуется интенсивностью взаимодействия между молекулами различных веществ. Твердое тело тем лучше смачивается раствором, чем меньше взаимодействие между молекулами самого раствора. При добавлении в воду кислот уменьшаются силы взаимодействия между молекулами воды.

В результате добавления кислоты в воду понижается на определенную величину ее поверхностное натяжение и увеличивается смачивающая способность раствора.

При фильтрации выщелачивающего раствора сквозь отвал он, взаимодействуя с его полидисперсными частицами, образует дисперсную систему. Дисперсная система состоит из дисперсной фазы и дисперсионной среды. Дисперсионная среда представляет собой воду, в которой имеются

растворенные соли и минералы, а также растворенные кислоты и щелочи. За дисперсную фазу следует принимать нерастворимые твердые минералы, органические частицы и т. д. В зависимости от размеров дисперсной фазы дисперсионные системы разделяются на следующие виды: молекулярные дисперсные, коллоидные, микрогетерогенные и грубодисперсные. Однако следует отметить, что переход от одной системы к другой не имеет резких границ. Несмотря на это, для коллоидной и микрогетерогенной систем огромное значение имеют адсорбция и поверхностные явления вообще, в то время как поведение двух других систем определяется в основном объемными свойствами.

В результате фильтрации выщелачивающего раствора через отвал мы имеем дисперсную систему. Эта система изменяет строение и структуру отвала забалансовых руд, так как его частицы переходят из несвязной пористой среды в раствор. Вследствие этого происходит уменьшение размеров пор отвала или кучи и самоуплотнения несвязной пористой среды, что необходимо учитывать при определении удельного расхода выщелачивающего раствора.

#### *Литература*

1. *Дерягин Б.В.* Молекулярное притяжение конденсированных тел / Б.В. Дерягин, И.И. Абрикосова, Е.М. Лившиц // *Успехи физических наук.* 1958. № 64. С. 493.
2. *Лебедев А.Ф.* Почвенные и грунтовые воды / А.Ф. Лебедев. М.; Л.: АН СССР, 1936. 316 с.
3. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 1 / И.В. Савельев. М.: Наука, 1977. 414 с.