

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. С. ФЕДОТОВА и К. А. ПОСПЕЛОВА

**КОАГУЛЯЦИЯ БЕНТОНИТОВЫХ СУСПЕНЗИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПЕСКА**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 4 XII 1953)

Коагуляция глинистых суспензий была исследована нами в связи с проблемой уменьшения водопроницаемости песка при кольматации песчаного слоя частицами глинистых суспензий. Первой стадией этого процесса является проникновение частиц глины из суспензии в песок на достаточную глубину, для чего суспензия должна быть высокодисперсной и устойчивой, т. е. достаточно гидрофильной. Однако такие сильно гидратированные частицы глины будут затем легко вымываться из песка, поэтому второй стадией процесса глинизации должно являться закрепление глины в песке.

Исследованный нами огланлинский (джебельский) натровый бентонит образует высокодисперсные устойчивые суспензии в воде, тиксотропно застудневающие при сравнительно небольших ($\sim 5\%$) концентрациях твердой фазы. Добавки щелочных электролитов, являющихся пептизаторами для глинистых суспензий, усиливают такое застуднение, тогда как добавки нейтральных электролитов и особенно электролитов с поливалентными катионами вызывают коагуляцию глины с образованием рыхлых нетиксотропных коагуляционных структур (^{1, 2}). Указанное закрепление частиц глины в кольматированном ими песке достигается путем коагуляции глины раствором электролита с поливалентным катионом. Как показали наши опыты, если через слой песка пропустить высокодисперсную суспензию глины, а затем раствор электролита с поливалентным катионом (например, $AlCl_3$), водопроницаемость песка резко уменьшается вследствие появления прочного сцепления между поверхностью зерен песка и частицами глины и сцепления дегидратированных частиц глины между собой. Однако такое закрепление глины наблюдается лишь в верхнем слое песка (~ 5 см), который и становится практически водонепроницаемым. В нижних слоях песка коагуляции глины не происходит, хотя частицы ее проникают на значительную глубину. Поэтому встал вопрос о необходимости одновременного введения в песок суспензии глины и раствора коагулятора с тем, чтобы коагуляция глины в песке наступала по всей толщине слоя, после того как частицы глины проникли в песок на достаточную глубину.

В связи с этим мы исследовали коагуляцию суспензий бентонита под действием различных электролитов и условия ее давления с тем, чтобы суспензия коагулировала через разные промежутки времени.

Для исследования коагуляции суспензий бентонита мы применили фильтрационный анализ, заключающийся в измерении скорости нестационарной фильтрации дисперсионной среды через непрерывно накапливающийся осадок дисперсной фазы (³). Простейший закон нестационарной фильтрации (полученный интегрированием уравнения Дарси с до-

пущением, что концентрация суспензии над осадком остается постоянной) устанавливает зависимость между объемом фильтрата v и временем его накопления τ :

$$\lg v = a + \gamma \lg \tau,$$

где a и γ — константы, причем a — логарифм объема фильтрата, накопившегося за первую минуту фильтрации, γ — тангенс угла наклона прямых скоростей фильтрации в логарифмическом масштабе. Таким образом, скорость фильтрации воды из различных суспензий бентонита в логарифмическом масштабе может быть представлена в виде ряда

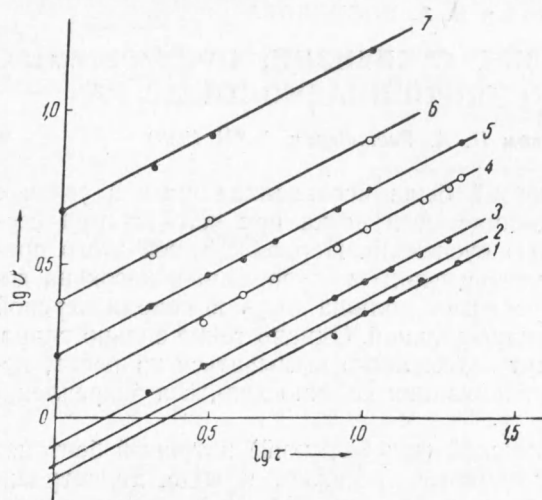


Рис. 1. Коагуляция бентонитовой суспензии растворами хлористого алюминия. 1—скорость фильтрации суспензии бентонита в чистой воде и в растворе хлористого алюминия концентрации 0,003% (0,0067 N); 2—0,005% (0,0011 N); 3—0,01% (0,0022 N); 4—0,02% (0,0045 N); 5—0,03% (0,0067 N); 6—0,05% (0,011 N); 7—0,1% (0,022 N)

параллельных прямых, отсекающих на оси, на которой отложен $\lg v$, отрезки a_1, a_2, a_3, \dots

Скорость фильтрации воды из высокодисперсных и устойчивых глинистых суспензий мала, так как образующийся в них осадок состоит из плотно упакованных весьма мелких гидратированных первичных частиц глины. Напротив, в коагулированных суспензиях глины скорость фильтрации велика, так как в них образуется рыхлый крупнозернистый осадок. Степень коагулированности суспензии удобно, таким образом, характеризовать скоростью фильтрации и входящей в нее постоянной a (или a_1 — логарифмом объема фильтрата, накопившегося за 10 мин. фильтрации).

На рис. 1 представлена коагуляция суспензии бентонита с содержанием твердой фазы 3% растворами AlCl_3 . Как видно из рис. 1, концентрация 0,005% (0,0012 N) уже вызывает коагуляцию бентонита, являясь (в пределах точности метода) порогом скрытой коагуляции для 3% суспензии бентонита. Дальнейшее увеличение концентрации раствора AlCl_3 увеличивает степень коагулированности суспензии бентонита. Концентрация 0,015% (0,0033 N) вызывает уже значительную (явную) коагуляцию суспензии.

На рис. 2 сопоставлена эффективность действия ряда коагуляторов-хлоридов на 3% суспензию бентонита; по оси ординат отложена постоянная a_1 — логарифм объема фильтрата, накопившегося за 10 мин. фильтрации, по оси абсцисс — концентрация коагуляторов в грамм-эквивалентах. Эффективность действия коагуляторов удобно сравнивать, проведя горизонталь, например, для $a_1 = 0,6$, что соответствует уже явной коагуляции бентонита. Как видно из рис. 2, концентрации AlCl_3 , MgCl_2 и NaCl , оказывающие одно и то же коагулирующее действие, относятся как 1 : 4 : 113.

Согласно следствию из теории коагуляции Б. В. Дерягина (4), концентрация электролита, вызывающая коагуляцию лиофобного золя, обратно пропорциональна 6-й степени валентности коагулирующего иона, и отношение концентраций электролитов с 3-, 2- и 1-валентным катио-

ном должно составить 1:11:730. Такое большое расхождение результатов наших опытов со следствием из теории Дерягина, вероятно, связано с высокой гидрофильностью суспензий бентонита. Следует отметить также, что мы сравнивали не пороги коагуляции, а концентрации, вызывающие одинаковое коагулирующее действие.

Как видно из рис. 2, при коагуляции суспензий бентонита электролитами наблюдаются лиотропные ряды:



Коагуляцию бентонитовых суспензий можно исследовать также вискозиметрическим методом, применимым для более разбавленных суспензий. Частицы бентонита анизодиаметричны и имеют в трех направлениях различные размеры, относящиеся как 1:10:100. Добавление коагулятора вызывает локальную дегидратацию и образование коагуляционных структур, что резко повышает эффективную вязкость суспензий. Сравнивая эффективность действия различных коагуляторов на бентонитовые суспензии по вискозиметрическим данным, мы получили соотношение концентраций, близкое к найденному по рис. 2.

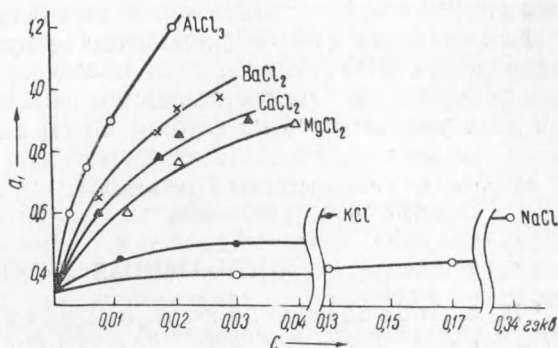


Рис. 2. Сопоставление коагулирующего действия электролитов на суспензию бентонитовой глины

Коагулирующее действие растворов AlCl_3 может быть подавлено добавлением растворов Na_2CO_3 . Подавление коагуляции в этом случае вызвано образованием нерастворимой гидроокиси алюминия, т. е. связыванием иона коагулятора. Добавляя к 1% суспензии бентонита одновременно растворы AlCl_3 и Na_2CO_3 , можно очень точно «дозировать» коагулирующее действие ионов алюминия и получить суспензии, явная коагуляция в которых наступает в любое заданное время: через 5, 10, 20 час. и т. д. * или совсем не наступает.

Далее мы применили изученные нами явления коагуляции и подавления коагулирующего действия ионов в суспензиях бентонита к уменьшению водопроницаемости песка. Была проведена глинизация слоя подмосковного песка ($d = 0,5 - 0,25$ мм) толщиной 50 см. Глинизация проводилась в сплошной стеклянной трубке ($d = 4$ см). Через слой песка в два приема было пропущено 1,25 л 1% суспензии бентонита с добавленными к ней AlCl_3 ($c = 0,01\%$) и Na_2CO_3 (0,25%). При таком соотношении компонентов явная коагуляция суспензии наступает через 24 часа. Надо отметить, что последние порции суспензии пропускались под давлением 20 см рт. ст. Затем заглинизированный слой песка дополнительно закреплялся пропуском 200 мл раствора AlCl_3 (0,1%). После этого трубка разрезалась на 5 равных звеньев по 10 см и в каждом звене определялось количество оставшейся в песке глины, уменьшение водопроницаемости и вымываемость глины и песка **.

* Задержать можно лишь наступление явной коагуляции, связанной с образованием крупных вторичных агрегатов, так как скрытая коагуляция — изменение дисперсности первичных частиц глины — наступает мгновенно, как на это указывают вискозиметрические и фильтрационные измерения.

** Вымывание глины не наблюдалось ни в одном звене в течение 3 суток.

Таблица 1

	№№ звеньев				
	1	2	3	4	5
Остаток глины в г .	1,49	1,40	1,38	0,95	1,00
% .	24	22	22	15	16
v	0	—	5,8	—	8,0
v_0/v	∞	—	105	—	76

Полученные данные приведены в табл. 1, где v — водопроницаемость, т. е. количество фильтрата (в мл), накапливающегося за 10 мин. фильтрации воды через слой 5 см; v_0/v — уменьшение водопроницаемости при постоянном градиенте давления; v_0 — объем фильтрата, накопившегося за 10 мин. фильтрации через слой 5 см чистого песка; $v_0 = 610$ мл.

Как видно из этой таблицы, всего из пропущенной суспензии в песке задержалось 6,22 г глины, т. е. половина из всей пропускавшейся; по весу песка это составляет всего около 0,5%. Однако водопроницаемость при этом уменьшилась на глубине 50 см в несколько десятков раз.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
9 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. А. Ребиндер, Ст. в кн. А. Н. Суринова, Новое о глинах и глинистых растворах, применяемых при бурении на нефть, М., 1940. ² Н. Н. Серб-Сербина, С. А. Никитина, Колл. журн., 8, 1 (1946). ³ Л. Е. Черненко, П. А. Ребиндер, там же, 12, 5 (1950). ⁴ Б. В. Дерягин, Л. Д. Ландау, ЖЭТФ, 15, 663 (1945).