

УДК 544.77

## СВОЙСТВА ФАЗ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА И ВЛИЯНИЕ НА НИХ СОСТАВА ВНЕШНЕГО РАСТВОРА

И.О. Агапов<sup>1\*</sup>, Н.Б. Ферапонтов<sup>1</sup>, М.Г. Токмачев<sup>1</sup>, Х.Т. Трбов<sup>2</sup>, А.Н. Гагарин<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; <sup>2</sup>Самаркандский государственный университет; \*e-mail: kommissar94@mail.ru)

Изучено влияние концентрации раствора, а также природы полярных групп и количества сшивки на степень набухания ионообменников, синтезированных на основе полистирола, сшитого дивинилбензолом. Показано, что доля объема внешнего раствора в ионообменнике зависит только от количества сшивки и не зависит от природы полярных групп и состава внешнего раствора. Установлена зависимость доли объема, занимаемого внешним раствором в набухшем ионообменнике, от процентного содержания дивинилбензола. Показано, что для описания свойств полимерных гелей больше всего подходит «слоистая» модель полимерной матрицы, при которой концентрация внешнего раствора влияет на степень набухания полимера, но не влияет на объем фазы внешнего раствора в грануле.

**Ключевые слова:** полимерный гель, полимерный раствор, фаза внешнего раствора, степень набухания, изотерма сорбции, математическая модель.

Гель полимера представляет собой объемный каркас, образованный сшитыми между собой полимерными молекулами, ячейки которого заполнены хорошим растворителем или раствором на его основе [1].

Однако такое представление о строении полимерного геля (ПГ) не дает полного ответа на вопрос о том, почему при изменении внешних условий меняется его объем и какие еще метаморфозы с полимерной сеткой и другими свойствами ПГ при этом могут происходить.

Экспериментально установлено, что изменение концентрации раствора, в который помещен сшитый полимер (т.е. внешнего раствора), приводит к изменению степени набухания геля. Причем это изменение может сопровождаться как ростом, так и уменьшением объема геля. Следовательно, концентрация растворенного вещества и его природа оказывают влияние на полимерную сетку, а точнее, на взаимное расположение в ней полимерных цепей. Это дает возможность проследить влияние природы веществ, их катионов и анионов на степень набухания полимерного геля [2].

Полимеры на основе полистирола, сшитого дивинилбензолом, широко используются в современных технологиях в качестве ионообменных материалов – ионообменников. К достоинствам таких полимеров относятся их механическая и химическая устойчивость, а также возможность разнообразить свойства, придавая

им при синтезе. Особенно важны в данном случае природа полярных групп и количество сшивающего вещества – дивинилбензола (ДВБ).

В отличие от традиционных квазигомогенных и некоторых гетерофазных моделей, подробно описанных в [3], где гелевые полимеры с ионообменными свойствами рассматриваются с точки зрения наличия трех форм воды, имеющих разные свойства (сольватной воды, окружающей функциональные группы и/или противоионы, «связанной» воды и свободной воды). В предлагаемой работе для описания свойств набухшего полимера было предложено рассматривать ПГ как систему, состоящую из двух фаз:

фаза полимерного раствора (ПР), состоящая из полимера, а также сорбированной полярными группами полимера воды и растворенных веществ, которые могут проникать в объем сорбированной полимером воды из внешнего раствора;

фаза внешнего раствора (ВР) – раствор, в котором набухает полимер. Этот раствор, проникая внутрь набухшего полимера, по своему составу не отличается от раствора снаружи (рис. 1) [4–10].

Количество сорбированной (или связанной) воды зависит как от свойств полимера, так и от активности воды во внешнем растворе. Энергия взаимодействия сорбированной воды с полярными группами полимера достаточно велика, поэтому сорбция воды происходит уже в атмос-

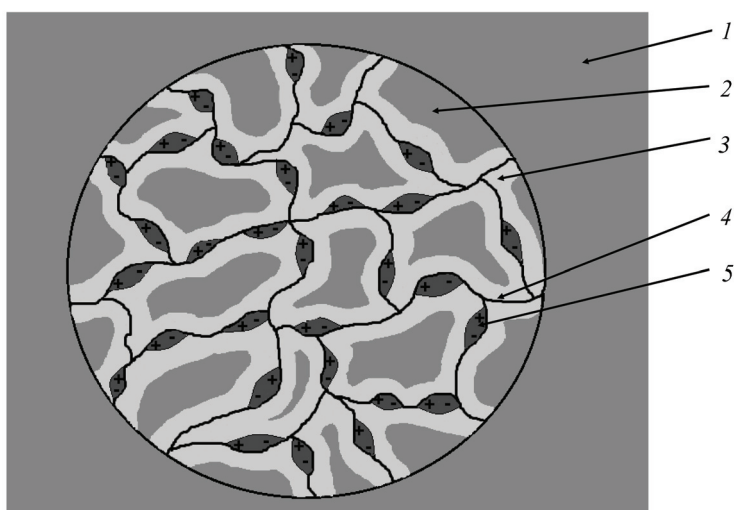


Рис. 1. Гетерофазная модель строения полимерного геля (ПГ):  
1 – внешний раствор, 2 – фаза внешнего раствора в набухшем полимере (ВР), 3 – вода в фазе полимерного раствора (ПР), 4 – полимерные цепи, 5 – полярные группы

фере водяного пара и зависит от давления пара. Эту зависимость в литературе обычно описывают изотермой сорбции воды данным полимером (рис. 2) [11]. Отметим, что количественные характеристики изотерм сорбции не зависят от фазового состояния воды, поэтому одна и та же изотерма показывает, как изменяется количество воды в фазе ПР при изменении давления пара или активности воды во внешнем растворе. Следует добавить, что при равновесии активность воды в фазе ВР и активность сорбированной воды в фазе ПР связаны константами распределения воды [12].

Известное и очевидное свойство исследованных в работе полимеров заключается в том,

что в одном и том же растворе в зависимости от природы полярных групп, ионной формы ионообменника и количества ДВБ степень набухания полимера будет различной. Вместе с тем в работах [13–15] показано, что при набухании указанных ионообменников, происходящем при изменении концентрации внешнего раствора (без изменения ионной формы ионообменника), сохраняется постоянство объема одной из фаз набухшего полимера, а именно фазы ВР. Данный результат нельзя считать тривиальным, поэтому в предлагаемой работе представлены результаты исследования влияния количества шивки и природы полярной группы полимеров на объемы фаз ПГ в растворах электроли-

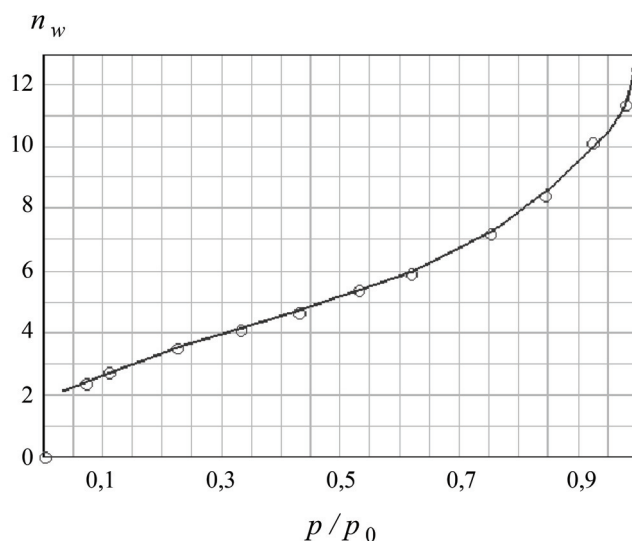


Рис. 2. Изотерма сорбции (точки) и десорбции (линия) воды для сульфокатионита КУ-2×8 в Н<sup>+</sup>-форме

тов разной природы и концентрации. Все результаты были получены методом оптической микротрии (ОМ) [16–18], который в настоящее время достаточно широко применяется для изучения изменений размеров различных объектов, в частности, для изучения эффектов набухания полимерных материалов. Это связано с высокой точностью метода и качеством программного обеспечения обработки цифровых изображений, получаемых в качестве аналитического сигнала. Примерная схема прибора представлена на рис. 3.

На основании полученных данным методом результатов в работе предложена адаптированная к ним модель строения ПГ на основе полистирола, сшитого дивинилбензолом.

### Теоретическая часть

Если методом ОМ исследовать изменение степени набухания ионообменника при изменении состава раствора, в котором ионообменник находится, то можно наблюдать, что чаще всего при увеличении концентрации раствора происходит плавное уменьшение объема измеряемого образца (рис. 4, кривая 3). При этом известно, что объем полимерной матрицы постоянен и его можно измерить или вычислить [13–15] (рис. 4, линия 1). Кроме того, для адекватного описания данного явления нетрудно получить изотерму сорбции воды данным полимером (рис. 4, кривая 2). Сопоставление результатов, представ-

ленных на рис. 4 (кривые 2, 3), показывает, что изменение степени набухания полимера ПГ происходит исключительно в результате изменения количества воды, сорбированной полимером, (т.е. в результате изменения объема фазы ПР) и соответствует изотерме сорбции воды данным полимером.

Для количественной оценки объема фазы ВР в ПГ была предложена система уравнений, позволяющих на основании данных, полученных методом ОМ, вычислять объем фазы ВР, находящийся внутри набухшего ионообменника.

В соответствии с гетерофазной моделью объем ПГ ( $V_g$ ) состоит из объемов двух фаз – ПР и ВР. В то же время объем фазы ПР складывается из объема полимерной матрицы  $V_r$  и объема «связанной» (сорбированной) воды  $V_s$ . На этом основании можно записать выражение для объема геля:

$$V_g = V_r + V_s + V_f, \quad (1)$$

где  $V_f$  – объем фазы ВР;  $V_g$  – объем гранулы полимерного геля, экспериментально определяемая величина, которую находят методом оптической микротрии.

Изменение объема геля  $\Delta V$  – разница между его объемом в воде и в растворе. Это изменение определяли также методом ОМ.

$$\Delta V = V_0 - V_{eq}, \quad (2)$$

где  $V_0$  – объем ПГ в воде;  $V_{eq}$  – равновесный объем ПГ в растворе заданной концентрации.

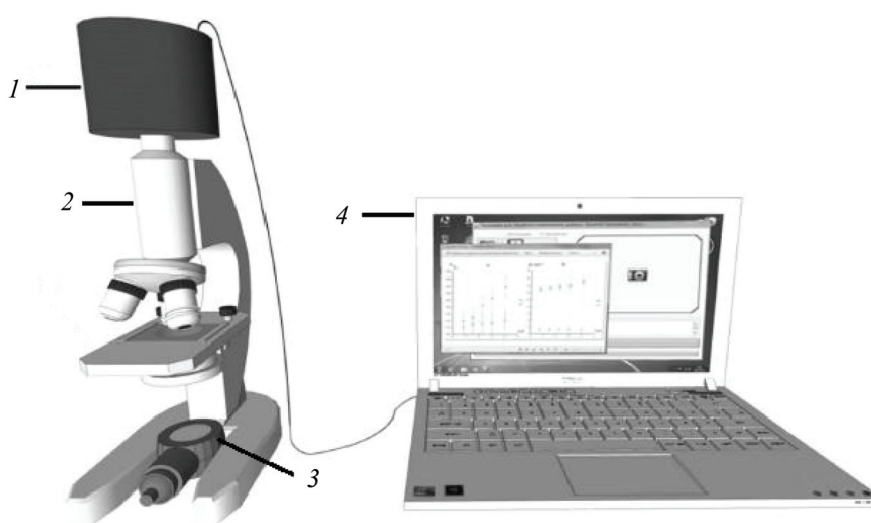


Рис. 3. Установка для изучения набухания ПГ методом оптической микротрии (ОМ): 1 – видеокamera в светозащитном чехле; 2 – микроскоп; 3 – источник света; 4 – ПК, снабженный пакетом программ для регистрации и обработки экспериментальных данных

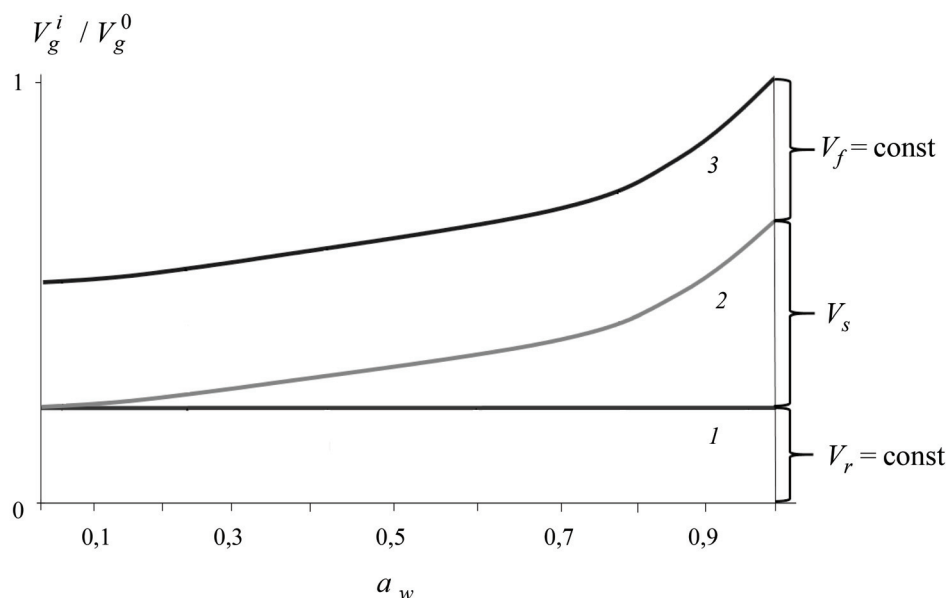


Рис. 4. Схема распределения объемов компонентов в полимерном геле (ПГ);  $V_r$  – объем сухого полимера,  $V_s$  – объем сорбированной воды,  $V_f$  – объем фазы внешнего раствора (ВР)

Поскольку изменение объема связано с сорбцией воды, количество полярных групп в грануле, на которых сорбируется вода ( $E$ , мг-экв полярных групп), можно вычислить, используя изотерму сорбции воды данным полимером, по формуле:

$$\Delta V = 18E(n_w^0 - n_w^i), \quad (3)$$

где  $n_w^0$  – удельная сорбция воды из пара при  $p/p^0 = 1$ ;  $n_w^i$  – удельная сорбция воды из пара при  $p/p^0 = 1 - i$ , т.е. в равновесном растворе [3].

На основании изотермы сорбции воды вычисляли также объем сорбированной воды  $V_s$ :

$$V_s = 18E \cdot n_w^i. \quad (4)$$

Объем  $V_r$  вычисляли на основании величин, характеризующих удельную обменную емкость данного полимера (удельные характеристики ионообменников определяли по известным методикам [19]):

$$V_r = E/e, \quad (5)$$

где  $e$  (мг-экв/мл) – удельное количество полярных групп в блоке сухого ионообменника [20].

По результатам вычислений находили объем фазы ВР ( $V_f$ ) в мл:

$$V_f = V_g - V_r - V_s. \quad (6)$$

### Экспериментальная часть

В таблице приведен список ионообменников, изученных в настоящей работе. Проанализированы свойства полимеров с разной природой по-

лярных групп, в разных ионных формах и с разным количеством сшивки. В качестве примера результаты одного из экспериментов представлены на рис. 5. Приведены данные, полученные только для трех концентраций растворов, но этого достаточно, чтобы удостовериться в постоянстве объема фазы ВР внутри гранулы при изменении концентрации внешнего раствора.

На рис. 6 приведены результаты вычислений доли объема фазы внешнего раствора ( $V_f/V_0$ ) в гранулах сульфокатионитов (Н- и К-форма) с разной сшивкой в растворах НС1 и КС1, имеющих разную концентрацию, а также для сильноосновных анионитов (С1-форма) с разной сшивкой в растворах КС1 разной концентрации. Из полученных результатов следует, что ионообменники на основе полистирола, сшитого дивинилбензолом, обладают одним общим свойством. В них доля объема фазы внешнего раствора, проникшего в ПГ (фаза ВР), зависит только от количества сшивки и не зависит от состава внешнего раствора (рис. 5), его концентрации и природы полярных групп (рис. 6). Заметим, что объем другой фазы (ПР) меняется при изменении концентрации внешнего раствора, так как зависит от активности воды во внешнем растворе (рис. 4).

Замена в ПГ фазы ВР происходит в результате либо вытеснения предыдущего раствора новым, находящимся снаружи ПГ, либо смешения этих растворов с выравниванием химических и электрохимических потенциалов. После того

Марки и характеристики исследованных ионообменников [19]

| Марка ионообменника | ДВБ, % | Полярная группа                               | Ионная форма    | $e$ , мг-экв/мл |
|---------------------|--------|---|-----------------|-----------------|
| КУ-2×4              | 4      | RSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | H <sup>+</sup>  | 9,1±0,1         |
|                     |        |   | K <sup>+</sup>  | 7,7±0,1         |
| КУ-2×8              | 8      | RSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | H <sup>+</sup>  | 9,1±0,1         |
|                     |        |   | K <sup>+</sup>  | 7,7±0,1         |
| DW-50×12            | 12     | RSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | H <sup>+</sup>  | 9,1±0,1         |
|                     |        |   | K <sup>+</sup>  | 7,7±0,1         |
| DW-50×16            | 16     | RSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | H <sup>+</sup>  | 9,1±0,1         |
|                     |        |   | K <sup>+</sup>  | 7,7±0,1         |
| КУ-2×20             | 20     | RSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | H <sup>+</sup>  | 9,1±0,1         |
|                     |        |   | K <sup>+</sup>  | 7,7±0,1         |
| КУ-2×25             | 25     | RSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | H <sup>+</sup>  | 9,1±0,1         |
|                     |        |   | K <sup>+</sup>  | 7,7±0,1         |
| АРА-4п              | 4      | R(NH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | 4,83±0,05       |
| АВ-17×8             | 8      | R(NH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | 4,17±0,05       |
| АРА-12п             | 12     | R(NH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | 2,86±0,03       |

как новый раствор полностью вытеснит исходный, в новом растворе между фазами ПР и ВР устанавливается новое межфазное равновесие, в результате чего меняется весь объем ПГ. Кинетика этого процесса детально описана в [21].

Согласно данным, представленным на рис. 6 (с учетом погрешности экспериментальных данных), изменение доли объема фазы внешнего раствора в набухшем полимере в зависимости от количества шивки можно описать линейным соотношением (7):

$$(V_f/V_0) \cdot 100\% = 43\% - 0,45 \cdot \Pi, \quad (7)$$

где  $\Pi$  – количество шивки (ДВБ, %).

На основании уравнения (7), представляющего собой линейную аппроксимацию экспериментальных данных методом наименьших квадратов (МНК), можно предположить, что сшивающее вещество (в данном случае ДВБ) занимает часть объема фазы ВР ( $V_f$ ) и его количество влияет на величину этого объема. Экстраполируя имеющиеся результаты на нулевую шивку, можно определить долю объема фазы

внешнего раствора в гауссовом клубке из гидратированной макромолекулы несшитого полистирола с привитыми полярными группами. На основании экспериментальных результатов было установлено, что величина  $V_f/V_0$  в гауссовом клубке несшитого полимера составляет  $43,0 \pm 1,2\%$ .

#### Моделирование строения полимерного геля

Постоянство объема фазы ВР в ПГ – важная особенность, характеризующая свойства и строение геля. Сохранение этого постоянства возможно в том случае, если количество воды в фазе ПР не будет влиять на величину объема ВР. Для этого гидратированные полимерные молекулы (фаза ПР) в ПГ должны иметь вполне конкретное взаимное расположение. Ниже рассмотрены модели строения ПГ, описанные в [15].

**Модель «цилиндров».** Пусть гранула полимера по условиям данной модели состоит из  $N^2$  цепей длиной  $h$ , вокруг каждой из которых, рас-

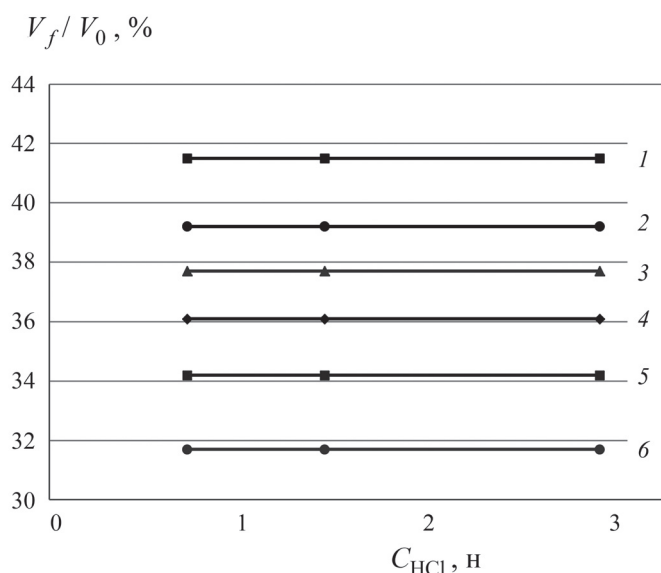


Рис. 5. Влияние концентрации внешнего раствора (НС1) на объем фазы ВР  $V_f$  в сульфокатионитах в Н-форме с разной шивкой: 1 – КУ-2×4, 2 – КУ-2×8, 3 – DW-50×12, 4 – DW-50×16, 5 – КУ-2×20, 6 – КУ-2×25

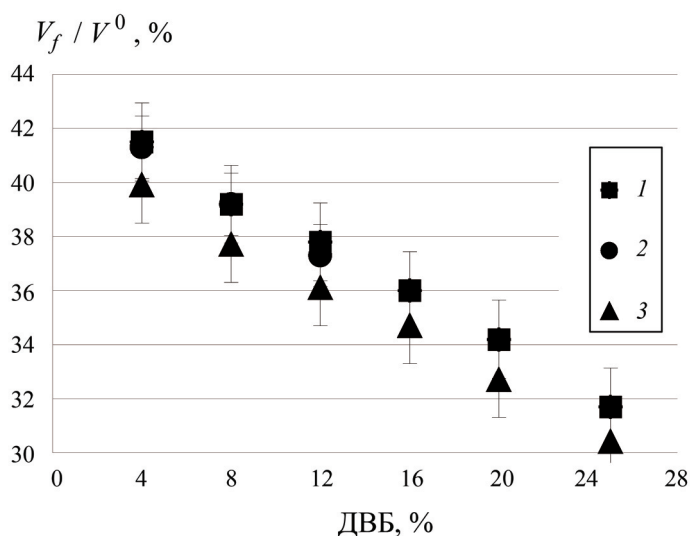


Рис. 6. Зависимость доли объема фазы ВР в ПГ –  $V_f$  от марки ионообменника, его ионной формы и количества сшивающего компонента: 1 – КУ-2 (Н-форма), 2 – АВ-17 (С1-форма), 3 – КУ-2 (К-форма)

полагается цилиндрическая зона «связанной» воды радиусом  $R$  (рис. 7).

Таким образом, объем «связанной» воды в сумме с объемом полимерных цепей даст объем полимерного раствора

$$V_{\text{связ.}} = (\pi R^2 h) N^2,$$

а полный объем набухшего в жидкости полимера, если пренебречь граничными эффектами, можно получить по формуле:

$$\begin{aligned} V &= [2RN + L(N - 1)]^2 h = \\ &= [(2R + L)N - L]^2 h, \end{aligned}$$

где  $L$  – длина шивки.

Следовательно, объем «свободной» воды равен:

$$\begin{aligned} V_{\text{своб.}} &= V - V_{\text{связ.}} = \\ &= [2RN + L(N - 1)]^2 h - \pi R^2 N^2 h. \end{aligned}$$

Посмотрим, как будет меняться объем «свободной» воды с ростом активности воды:

$$\partial V_{\text{своб.}} / \partial R = Nh[NR(8 - 2\pi) - 4L] > 0,$$

если  $N$  велико.

Анализ уравнения показывает, что объем «свободной» воды будет расти с увеличением активности воды (рис. 8, кривая 2), а это противоречит полученным экспериментальным результатам, приведенным в [15].

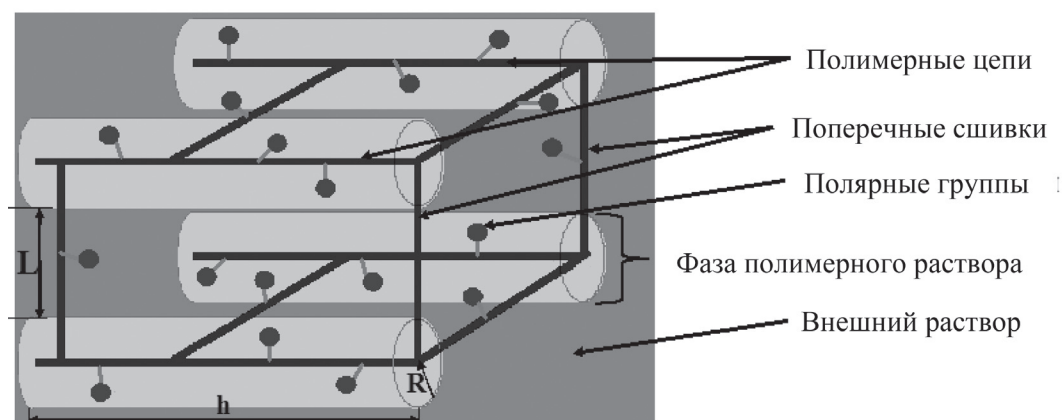


Рис. 7. Модель «цилиндры»

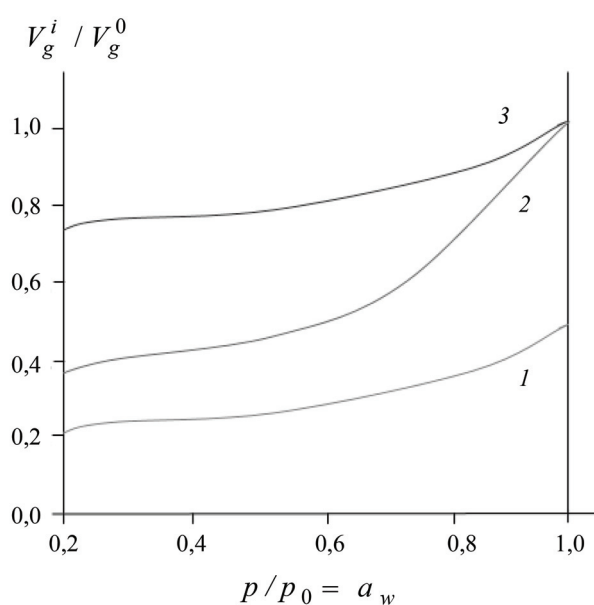


Рис. 8. Изменение степени набухания полимера и его изотермы сорбции в зависимости от внешних условий: 1 – изотерма сорбции воды полимером в зависимости от давления пара; 2, 3 – изменение объема полимера, рассчитанное по «цилиндрической» и по «слоистой» моделям, при изменении концентрации раствора соответственно

**«Слоистая» модель.** Пусть гранула полимера состоит из  $N$  плоскостей площадью  $S$  и толщиной  $2R$  каждая, представляющих собой зоны полимерных цепей, покрытых сорбированной водой, а расстояние  $L$  между ними заполнено «свободной» водой или раствором (рис. 9).

В этом случае

$$V_{\text{связ.}} = (2RS) N,$$

$$V_{\text{своб.}} = SL(N - 1),$$

т.е. не зависит от  $R$ , а следовательно, и от  $a_w$ . Таким образом, объем жидкости, проникшей в полимер из внешней фазы, не меняется при изме-

нении активности воды в этой фазе (рис. 8, кривая 3). Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что «слоистая» модель наиболее точно описывает полученные экспериментальные результаты [15].

### Обсуждение результатов

Сравнение математических моделей, предложенных для описания структуры полимерного геля, показало, что лучше других экспериментальные результаты описывает «слоистая» модель. Это указывает на то, что полимерный гель можно рассматривать как структуру, в которой

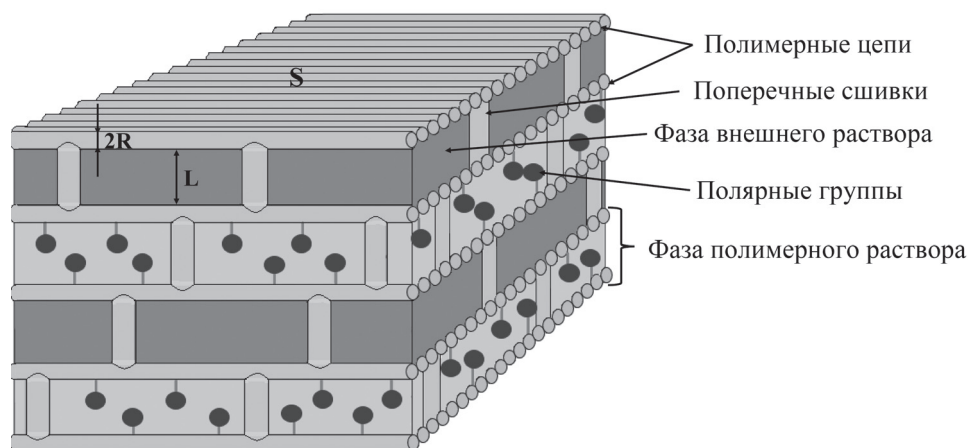


Рис. 9. «Слоистая» модель строения полимера, набухшего в растворе – полимерного геля

чередуются слои фаз ПР и ВР. Полученный результат соответствует гетерофазной модели, в которой количество сорбированной полимером воды представляет собой функцию активности воды во внешней фазе.

Причина образования слоистой структуры ПГ может быть связана с условиями получения сшитых гелевых ионообменников, которые обеспечивают максимально близкое расположение полимерных цепей в объеме полимера [22]. Близостью полярных групп обусловлено объединение их гидратных оболочек в общий объем, а поверхностное натяжение приводит к взаимной ориентации полярных групп с одной общей стороны полимерных цепей [23, 24]. Этим энергетически оправданным процессом обусловлено образование фазы ПР, а отсутствие полярных групп на противоположной стороне полимерных цепей приводит к образованию на них гидрофобной поверхности. Если полимер находится в жидкости, то эти стороны полимерных цепей также притягиваются друг к другу, но уже в результате гидрофобного притяжения [25, 26]. Таким образом, по разные стороны объединенных гидрофобным притяжением полимерных цепей располагаются растворы разного состава:

1) раствор, состоящий из полярных групп гидратированных полимерных цепей, на активность воды в которых оказывает влияние электрический потенциал полимера (фаза ПР),

2) внешний раствор, находящийся между гидрофобными сторонами (фаза ВР), на активность воды в котором электрический потенциал полимера влияния не оказывает.

Трехмерная модель полимерного геля на основе полистирола, сшитого дивинилбензолом, представлена на рис. 9. Она соответствует модельным представлениям о том, что сшитые гидрофильные полимеры в воде и водных растворах образуют двухфазные эластичные связнодисперсные системы, в которых каждая фаза обладает свойствами раствора, а растворителем служит вода. Из нее следует, что некоторые свойства ПГ аналогичны свойствам эмульсий. В частности, значения активности компонентов, присутствующих в обеих фазах (например, воды), связаны (так же, как и в эмульсиях) константами распределения.

Работа выполнена в рамках бюджета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Конфликта интересов нет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М., 2007.
2. Роговина Л.З. Васильев В.Г., Браудо Е.Е. // Высокомолек. Соединения. 2008. Т. 50. № 7. С. 1397.
3. Заболоцкий В.И., Никоненко В.В. Перенос ионов в мембранах. М., 1996.
4. Гнусин Н.П., Гребенюк В.Д. Электрохимия гранулированных ионитов. Киев, 1972.
5. Архангельский Л.К. / Иониты в химической технологии (под ред. Б.П. Никольского, П.Г. Романкова). Л., 1982.
6. Феропонтов Н.Б., Горшков В.И., Тробов Х.Т., Парбузина Л.Р. // Журн. физ. химии. 1994. Т. 68. № 6. С. 1109.
7. Ferapontov N.B., Gorshkov V.I., Parbuzina L.R., Trobov H.T., Strusovskaya N.L. // Reactive & Functional Polymers. 1999. Vol. 41. P. 213.
8. Davies C.W., Yeoman G.D. // Trans. Faraday Soc. 1953. Vol. 42. N 8. P. 968.
9. Boyd G.E., Soldano B.A. // Z. Electrochem. 1953. Bd 57. H. 3. S. 162.



10. *Gregor H.P., Sundheim B.R., Held K.M., Waxman M.H.* // J. Coll. Sci. 1952. Vol. 7. N 5. P. 511.
11. *Гельферих Ф.* Иониты. Основы ионного обмена. М., 1962.
12. *Ферапонтов Н.Б., Токмачев М.Г., Гагарин А.Н.* // Журн. физ. химии. 2009. Т. 83. № 8. С. 1487.
13. *Шелковникова Л.А., Сарвин В.А., Ферапонтов Н.Б.* // Сорбционные и хроматографические процессы. 2004. Т. 4. С. 660.
14. *Ферапонтов Н.Б., Вдовина С.Н., Гагарин А.Н., Струсовская Н.Л., Токмачев М.Г.* // Конденсированные среды и межфазные границы. 2011. Т. 13. № 2. С. 208.
15. *Ferapontov N.B., Tokmachev M.G., Gagarin A.N., Strusovskaya N.L., Khudyakova S.N.* // Reactive and functional polymers. 2013. Vol. 73. P. 1137.
16. *Ферапонтов Н.Б., Рубин Ф.Ф., Ковалева С.С.* Пат. РФ № 228250 от 29 апреля 2005 г., БИ № 24 от 27 августа 2006 г.
17. *Dyson J.* // J. Phys. Chem. 1960. Vol. 50. P. 754 (цит. по: Фриман Д.Х. Изучение ионообменных систем с помощью микроскопии / Ионный обмен под ред. Я.А. Маринского М., 1968).
18. *Freeman D.H., Patel V.C., Buchanan T.M.* // J. Phys. Chem. 1965. Vol. 69. P. 1477 (цит. по: Фриман Д.Х. Изучение ионообменных систем с помощью микроскопии / Ионный обмен под ред. Я.А. Маринского М., 1968).
19. *Полянский Н.Г., Горбунов Г.В., Полянская Н.А.* Методы исследования ионитов. М., 1976.
20. *Троров Х.Т.* // Дис. ... канд. хим. наук. М., 1994.
21. *Tokmachev M.G., Ferapontov N.B., Gagarin A.N.* // J. Mathematical Chemistry. 2017. Vol. 55. N 1. P. 142.
22. *Malinsky J., Klaban J., Dusek K.* // J. Macromolecular Science. 1971. A5. N 6. P. 1071.
23. *Березина Н.П., Карпенко Л.В.* // Коллоид. журнал. 2000. Т. 62. № 6. С. 1.
24. *Mauritz K.A., Hopfinger A.J.* // Modern Aspects Electrochem. 1982. Vol. 14. P. 425.
25. *Шур А.М.* Высокомолекулярные соединения. М., 1981.
26. *Троров Х.Т., Ферапонтов Н.Б., Горшков В.И., Парбузина Л.Р.* // Деп. ВИНТИ. № 3119. В-93. 21.12.1993.

Поступила в редакцию 12.09.18

Получена после доработки 10.11.2018

Принята к публикации 15.02.2019

## PHASE PROPERTIES OF POLYMER GELS AND INFLUENCE BY THE COMPOSITION OF THE EXTERNAL SOLUTION

Agapov I.O.<sup>1\*</sup>, Ferapontov N.B.<sup>1</sup>, Tokmachev M.G.<sup>1</sup>, Trobov Kh.T.<sup>2</sup>, Gagarin A.N.<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, <sup>2</sup> Samarkand State University; \*e-mail: kommissar94@mail.ru)

**The influence of the concentration of external solution, as well as the nature of the polar groups and the amount of cross-linking in the resins on the degree of swelling of the ionites synthesized on the basis of polystyrene cross-linked by divinylbenzene is investigated. It is shown that the share of volume of external solution in an ionite depends only on the amount of cross-linking and is independent of the nature of the polar groups and the composition of the external solution. The dependence of the volume share occupied by the external solution into the swollen ionite on the divinylbenzene percentage is determined. The model of the polymer matrix, in which the concentration of the external solution affects the degree of polymer swelling, but does not affect the volume of external solution in the granule, is proposed. It is shown that the most convenient model for describing the properties of polymer gels, in which the concentration of the external solution affects the degree of swelling of the polymer, but does not affect the volume of the phase of the external solution in the granule, is the “sandwich” model of the polymer matrix.**

**Key words:** polymer gel, phase of the external solution, degree of swelling, mixed solution, calibration curve, mathematical model.

**Сведения об авторах:** *Агапов Илья Олегович* – дипломник кафедры аналитической химии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (kommissar94@mail.ru); *Ферапонтов Николай Борисович* – вед. науч. сотр. кафедры физической химии химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, докт. хим. наук (n.ferapontov@phys.chem.msu.ru); *Токмачев Михаил Геннадьевич* – доцент кафедры математики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, канд. физ.-матем. наук (miket@mail.ru); *Троров Хамза Турсунович* – ст. науч. сотр. кафедры физической химии химического факультета Самаркандского государственного университета, канд. хим. наук (trobov.hamza@mail.ru); *Гагарин Александр Николаевич* – науч. сотр. кафедры физической химии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, канд. хим. наук (edward-blackarch@yandex.ru).