

КИНЕТИКА ПРОТЕКАНИЯ МОНОМОЛЕКУЛЯРНОЙ АДСОРБЦИИ РЕАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

М.Е. Логинова, Г.Ю. Колчина, Э.М. Мовсумзаде

Марианна Евгеньевна Логинова (ORCID 0000-0001-7077-8705)*

Кафедра бурения нефтяных и газовых скважин, Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Российская Федерация, 450062

E-mail: ufamel@yandex.ru*

Галина Юрьевна Колчина (ORCID0000-0003-2808-4827)

Кафедра химии и химической технологии, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, просп. Ленина, 49, Стерлитамак, Российская Федерация, 453103

E-mail: kolchina.gyu@mail.ru

Эльдар Мирсамедович Мовсумзаде (ORCID 0000-0002-7267-1351)

Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Российская Федерация, 450062

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), ул. Садовническая, 33, Москва, Российская Федерация, 117997

E-mail: eldarmm@yahoo.com

В статье рассмотрена кинетика процесса мономолекулярной изотермической адсорбции буровых реагентов: сырьевой основы - сульфитный лигносульфонат (ЛСТ); - нейтрально-сульфитный лигносульфонат (Н-ЛСТ); модифицированной формы на основе нейтрального лигносульфоната: - поливалентными катионами – феррохромлигносульфонат (ФХЛС) и поливалентными катионами и фосфоновыми группами этидроновой кислоты – феррохромлигносульфонат (ФХЛС-2М). В основу исследования положены кинетические представления о процессе адсорбции, определяющие скорости адсорбции и десорбции в условиях равновесия. Рассчитаны их основные адсорбционные характеристики. Определены значения среднего времени нахождения адатомов (адсорбированного атома) исследуемых реагентов на границе «жидкость – твердое тело». По основному уравнению Ленгмюра были получены зависимости количества адатомов в насыщенном слое каждого реагента. Получены эмпирические зависимости и значения скоростей адсорбций для «рабочей» зоны концентраций ($5,1 \cdot 10^{-5}$ – $76 \cdot 10^{-5}$ моль/л) данных реагентов при постоянной температуре 298 К. Выявлено, что константа адсорбционного равновесия в уравнении Ленгмюра K_d несет в себе информацию о скорости процесса адсорбции, и зная ее значение и ее взаимосвязь с плотностью заполнения насыщаемого слоя при определенной концентрации, можно получить значение скорости адсорбции реагента. В результате было выявлено, что скорость адсорбции сульфитного лигносульфоната ЛСТ почти в 125 раз, а скорость адсорбции модифицированной формы на основе нейтрального лигносульфоната поливалентными катионами и фосфоновыми группами этидроновой кислоты – феррохромлигносульфонат ФХЛС-2М, более чем в 20 раз превышает скорость адсорбции Н-ЛСТ при максимальной «рабочей» концентрации». Графически построены аналитические зависимости скоростей адсорбции/десорбции от коэффициентов адсорбции/десорбции. Численно получены соответствующие коэффициенты. Примечательно, что коэффициент адсорбции превышает коэффициент десорбции при равных скоростях. Выявлено, что адсорбция на твердой поверхности (глина) исследуемых лигносульфонатных систем в системе «жидкость – твердое тело» является физической.

Ключевые слова: адсорбция, адсорбционные процессы, реагенты, скорость адсорбции, энергия активации, концентрации, мономолекулярный слой, время адсорбции, десорбция

KINETICS OF MONOMOLECULAR ADSORPTION OF REAGENT SYSTEMS

M.E. Loginova, G.Yu. Kolchina, E.M. Movsumzade

Marianna E. Loginova (ORCID 0000-0001-7077-8705)*

Department of Oil and Gas Well Drilling, Ufa State Petroleum Technical University, Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450062, Russia

E-mail: ufamel@yandex.ru *

Galina Yu. Kolchina (ORCID 0000-0003-2808-4827)

Department of Chemistry and Chemical Technology, Sterlitamak Branch of Bashkir State University, Lenin ave., 49, Sterlitamak, 453103, Russia

E-mail: kolchina.gyu@mail.ru

Eldar M. Movsumzade (ORCID 0000-0002-7267-1351)

Ufa State Petroleum Technical University, Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450062, Russia

Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Sadovnicheskaya st., 33, Moscow, 117997, Russia

E-mail: eldarmm@yahoo.com

The article considers the kinetics of the process of monomolecular isothermal adsorption of drilling reagents: raw material base - sulfite lignosulfonate (LST); - neutral-sulfite lignosulfonate (N-LST); modified form based on neutral lignosulfonate: - polyvalent cations – ferrochromolignosulfonate (FCLC) and polyvalent cations and phosphonic groups of ethidronic acid – Ferrochromolignosulfonate (FCLC-2M). The study is based on kinetic concepts of the adsorption process, which determine the rates of adsorption and desorption in equilibrium conditions. Their main adsorption characteristics are calculated. The values of the average residence time of the adatoms (adsorbed atom) of the studied reagents at the liquid–solid boundary were determined. According to the main Langmuir equation, the dependences of the number of adatoms in the saturated layer of each reagent were obtained. Empirical dependences and values of adsorption rates for the "working" concentration zone ($5.1 \cdot 10^{-5}$ - $76 \cdot 10^{-5}$ mol/L) of these reagents at a constant temperature of 298 K were obtained. It is revealed that the adsorption equilibrium constant in the Langmuir equation K_1 carries information about the rate of the adsorption process and knowing its value and its relationship with the filling density of the saturated layer at a certain concentration, it is possible to obtain the value of the rate of adsorption of the reagent. As a result, it was revealed that the rate of adsorption of sulfite lignosulfonate LST is almost 125 times, and the rate of adsorption of a modified form based on neutral lignosulfonate by polyvalent cations and phosphonic groups of ethidronic acid – ferrochromolignosulfonate FCLC-2M, is more than 20 times higher than the rate of adsorption of N-LST at the maximum "working concentration". Analytical dependences of adsorption/desorption rates on adsorption/desorption coefficients are graphically constructed. The corresponding coefficients were numerically obtained. It is noteworthy that the adsorption coefficient exceeds the desorption coefficient at equal rates. It is revealed that the adsorption on a solid surface (clay) of the studied lignosulfonate systems in the "liquid – solid" system is physical.

Key words: adsorption, adsorption processes, reagents, adsorption rate, activation energy, concentrations, monomolecular layer, adsorption time, desorption

Для цитирования:

Логинова М.Е., Колчина Г.Ю., Мовсумзаде Э.М. Кинетика протекания мономолекулярной адсорбции реагентных систем. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 4. С. 60–67. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6750.

For citation:

Loginova M.E., Kolchina G.Yu., Movsumzade E.M. Kinetics of monomolecular adsorption of reagent systems. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 4. P. 60–67. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6750.

ВВЕДЕНИЕ

Самой важной составляющей процесса проводки нефтегазовых скважин являются различные технологические и физические параметры реагентных систем, из которых состоит промывочная жидкость. Поверхностные процессы на границе раздела фаз «горная порода – промывочная жидкость» определяют результативность работы реагентных систем, которые количественно определяются величиной поверхностной активности, величина которой определяет способность снижать избыточную энергию поверхности (горной породы) на границе раздела фаз, увеличивая этим ее площадь контакта с адсорбатом (реагентом в составе промывочной жидкости). В связи с этим достигается стабильность поверхности раздела фаз и, вследствие чего, снижаются риски осложнений при проходке неустойчивых, склонных к набуханию и осыпям горных породах. В статье авторами рассмотрена кинетика протекания процесса адсорбции, так как знание о закономерностях протекания этого поверхностного явления позволяет судить о механизмах регулирования свойств технологических жидкостей. Для исследования физикохимии буровых и тампонажных растворов роль как физических, так и химических поверхностных явлений очень велика [1-4]. Знания этих явлений обуславливают такие свойства, как устойчивость к коагулирующему действию электролитов и структурно-механические показатели. Вводимые в состав буровых растворов, в качестве адсорбтивов выступают химические реагенты для регулирования их технологических свойств.

В предложенной работе проводится оценка работы полимерных реагентных систем на основе теории Ленгмюра и, с помощью математического расчета, выявлены закономерности динамического характера протекания процесса адсорбции/десорбции на примере лигносульфонатов различных способов получения, а также их модифицированных форм.

Ухудшение коллекторских свойств пласта, как известно, происходит в результате проникновения фильтра и твердой фазы буровых растворов в призабойную и удаленную зоны и необратимых процессов (физических, физико-химических, химических, барометрических и т.д.) взаимодействия их с пластовыми флюидами. Это приводит к снижению фильтрационных характеристик коллекторов нефти и газа вследствие коагуляции порового пространства твердой фазой полидисперсных систем, закупорки набухающими глинистыми частицами и продуктами химического взаимодействия

фильтратов буровых растворов с пластовыми флюидами и проницаемой средой, блокирования водонефтяной эмульсией.

Исследование посвящено изучению кинетики процесса изотермической мономолекулярной адсорбции следующих объектов:

- сырьевой основы - сульфитный лигносульфонат (ЛСТ); - нейтрально-сульфитный лигносульфонат (Н-ЛСТ);

модифицированной формы на основе нейтрального лигносульфоната:

- поливалентными катионами – феррохромлигносульфонат (ФХЛС);

- поливалентными катионами и фосфоновыми группами этидроновой кислоты – феррохромлигносульфонат (ФХЛС-2М) [5-6], которые широко применяются в химии технологических жидкостей растворов.

В основу теории положены кинетические представления о процессе адсорбции, определяющие скорости адсорбции и десорбции в условиях равновесия [6-9].

Кинетика процесса адсорбции на границе «твердое тело-жидкость» такова, что сама твердая граница вещества либо упруго отражает падающую на неё частицу, либо поглощает атом (молекулу) и держит его внутри себя. В зависимости от среднего времени пребывания в адсорбированном состоянии τ атом или покидает её (когда время не велико) или остается на ней (долговременная адсорбция). В последнем случае, изменяется свойства и границы, и материала в целом, адсорбция атомов и молекул на поверхности приводит к повышению его концентрации по сравнению с содержанием в объеме, перераспределению вещества по поверхности, изменению ее химического состава [7-8].

Когда поверхностные силы отсутствуют (вблизи идеальной границы адсорбата) время пребывания адатома (адсорбированный атом) соответствует порядку периода молекулярных колебаний, около 10^{-13} с. Отсутствие поверхностных сил соответствует нулевому коэффициенту прилипания адатомов и их зеркальному отражению от поверхности. При наличии вандервальсовских сил, обменного и кулоновского притяжения среднее время нахождения адатома на границе имеет выражение [9].

$$\tau_{cp} = \tau_0 \exp\left(\frac{q}{RT}\right), \quad (1)$$

где τ_0 – период молекулярного колебания, $R = k_B N_a$ $R = 8,31$ Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная, k_B – постоянная Л. Больцмана, N_a – число

Авогадро, Q – энергия взаимодействия осаждаемого атома с поверхностью адсорбата (теплота адсорбции), T – температура по шкале Кельвина.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основой для определения теплоты адсорбции лигносульфонатов и реагентов на их основе являются кривые адсорбционных потерь, полученные на основании величин поверхностного натяжения водных растворов исследуемых реагентов, полученные в работе [1].

В табл. 1 представлены расчетные значения зависимости (1) для исследуемых реагентов. По значениям энергии можно сделать вывод, их адсорбция на твердой поверхности (гидрофильный бентонитовый ПБМА, массовая доля влаги 12%) является физической (до 40 кДж/моль).

Таблица 1

Значения среднего времени нахождения адатома на границе и энергий взаимодействия исследуемых реагентов

Table 1. Values of the average residence time of an adatom at the boundary and the interaction energies of the studied reagents

Объекты	$\tau, 10^{-8}$ с	Q	$h, 10^{-3}$ м
ЛСТ	759	22125,7	0.23
ФХЛС	1,9	30129,32	0.26
ФХЛС-2М	53	26972,8	0.62
Н-ЛСТ	0,11	34460,46	0.006

Образование моноатомного слоя по И. Ленгмюру (1881-1957 гг.) происходит тогда, когда около поверхности раздела происходит увеличение концентрации адатомов, и приближающаяся частица может столкнуться с другим адатомом, а не на свободный участок. Тогда она будет отражена им или будет с ним связана слишком короткое время. Но в итоге должна занять свободный участок на твердой поверхности. Это приводит к образованию моноатомного h слоя (табл. 1). В таком случае, теплота адсорбции одинакова для всех падающих на поверхность частиц и не зависит от наличия или отсутствия на границе других адатомов; при столкновении падающей частицы с адатомом она отражается в жидкую фазу (верхний предел адсорбции). Согласно такой модели, максимальная адсорбция Γ_{∞} (табл. 2) возникает при образовании двухмерного монослоя из адатомов, на поверхности которого адсорбция прекращается [8, 9]. Для вывода уравнения адсорбционной изотермы Ленгмюра предположим, что на границе имеется достаточное число мест адсорбции, и если молекула адсорбата занимает в поверхностном

слое площадь S_0 , а количество его молекул составляет n , то nS_0 – это площадь, которую занимают все молекулы в расчете на единицу площади адсорбционного занятого слоя. Площадь, не занятая молекулами адсорбата, равна $(1 - nS_0)$; свободная поверхность определяет возможность протекания последующего процесса адсорбции.

Скорость перехода молекул из адсорбатива в адсорбат (скорость адсорбции V_{ad}) связана прямолинейно с концентрацией вещества в объеме c и свободной площади:

$$V_{ad} = k_1 c(1 - nS_0). \quad (2)$$

Возможность десорбции части вещества из адсорбционного слоя площадью nS_0 предполагает динамический характер адсорбции. Скорость десорбции v_d пропорциональна этой площади и определяется по уравнению:

$$V_d = k_2 cnS_0. \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3) k_1 и k_2 – константы скорости адсорбции и десорбции.

Считаем, что скорости прямого и обратного процесса равны, так как имеет место условие равновесия. На этом основании из уравнений (2) и (3) следует

$$K_d = \frac{V_a}{V_d} = \frac{k_a c(1-nS_0)}{k_a cnS_0} = \frac{1-nS_0}{cnS_0}. \quad (4)$$

Если вся площадь границы раздела занята адсорбированными молекулами, то имеет место случай предельной адсорбции. Это можно выразить по отношению к выбранной единице площади следующим образом:

$$n_{\infty} S_0 = 1, \quad (5)$$

где n_{∞} – число молекул в насыщенном адсорбционном слое.

Степень насыщения θ ($0 < \theta < 1$.) адсорбционного слоя можно представляется как отношение:

$$\theta = \frac{n}{n_{\infty}}. \quad (6)$$

Число молекул в ненасыщенном n и насыщенном n_{∞} адсорбционных слоях можно выразить через адсорбцию $\Gamma(A)$:

$$n = n_{\infty} \cdot \frac{1+K_d c}{K_d c}, \quad (7)$$

$$\Gamma(A) = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{1+K_d c}{K_d c}. \quad (8)$$

Выражения (7, 8) и есть разновидности уравнения Ленгмюра. Входящая в него величина K_d в соответствии с условием (4), является константой адсорбционного равновесия. Авторами были получены зависимости (8) для исследуемых объектов (табл. 2) и зависимость (7) представлена на рис. 1. Одним из недостатков теории И. Ленгмюра явля-

ется то, что падающая на поверхность частица отражается от адатома; ее среднее время пребывания в области S бесконечно мало (табл. 1).

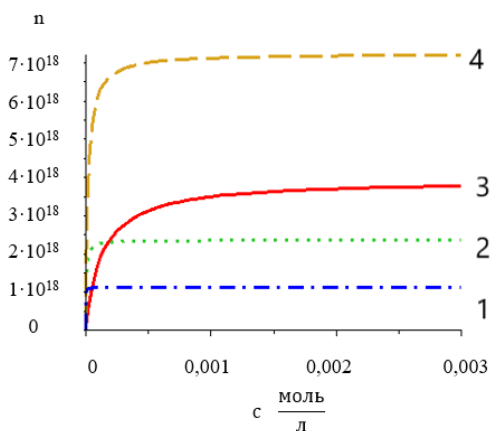


Рис. 1. Количество молекул в адсорбционном слое
1 – Н-ЛСТ; 2 – ФХЛС; 3 – ЛСТ; 4 – ФХЛС-2М;
Fig. 1. The number of molecules in the adsorption layer
1 - N-LST; 2 - FCLC; 3 - LST; 4 - FCLS-2M

Таблица 2

Основные адсорбционные параметры для рассматриваемых объектов

Table 2. The main adsorption parameters for the objects under consideration

Объекты	Γ_{∞} , моль/м ²	K_L , л/моль	Θ при концентрации, моль/л	
			$5,1 \cdot 10^{-5}$	$76 \cdot 10^{-5}$
ЛСТ	$6,55 \cdot 10^{-6}$	7590	0,27	0,85
ФХЛС	$3,91 \cdot 10^{-6}$	192275	0,907	0,99
ФХЛС-2М	$1,25 \cdot 10^{-5}$	83745	0,732	0,976
Н-ЛСТ	$1,86 \cdot 10^{-6}$	1105339	0,98	0,998

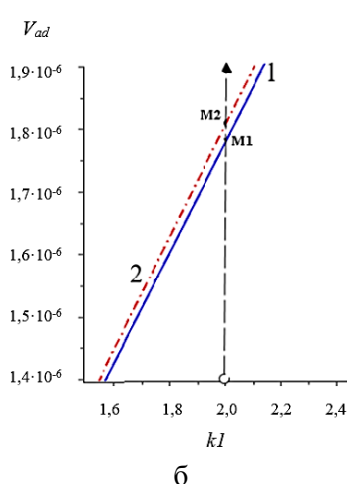
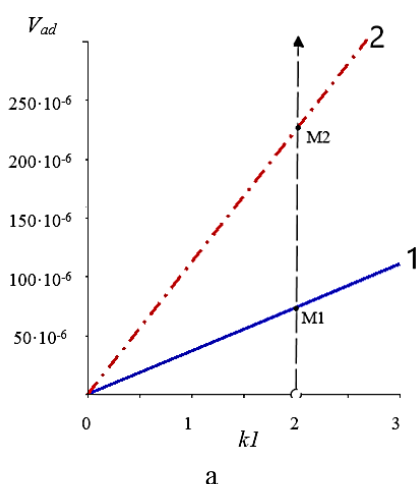


Рис. 2. Расчет и изменение скорости адсорбции для (а) ЛСТ и (б) Н-ЛСТ Зависимость скорости адсорбции при $c=5,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л; Зависимость скорости адсорбции при $c=76 \cdot 10^{-5}$ моль/л; M1, M2 – расчетные точки пересечения при одной и той же константе скорости адсорбции

Fig. 2. Calculation and change in the adsorption rate for (a) LST and (б) N-LST 1- Dependence of the adsorption rate at $c=5.1 \cdot 10^{-5}$ mol/l; 2- Dependence of the adsorption rate at $c=76 \cdot 10^{-5}$ mol/l; M1, M2 – calculated intersection points at the same adsorption rate constant

Таким образом, константа адсорбционного равновесия K_L несет в себе информацию о скорости процесса адсорбции (4) и зная ее значение и ее взаимосвязь с плотностью заполнения (6) при определенной концентрации, можно получить значение скорости адсорбции реагента.

Таблица 3

Расчет скоростей адсорбции для $c=5,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л при выбранной константе $k_1=2$ м²/(моль·с)

Table 3. Calculation of adsorption rates for $c=5.1 \cdot 10^{-5}$ mol/l at the selected constant $k_1=2$ м²/(mol·s)

Объекты	$M1, V_{ad} = V_d, 10^{-6}$ м/с	$k_2, \frac{1}{m \cdot c}, 10^6$	Θ	Эмпирическая зависимость скоростей
ЛСТ	73,5	263,47	0,279	$V_{ad} = 0,0000367k_1$ $V_d = 0,2791k_2$
ФХЛС	9,46	10,4	0,91	$V_{ad} = 0,0000047k_1$ $V_d = 0,907k_2$
ФХЛС-2М	27,3	372,1	0,73	$V_{ad} = 0,0000136k_1$ $V_d = 0,732k_2$
Н-ЛСТ	1,77	1,8	0,98	$V_{ad} = 8,89 \cdot 10^{-7}k_1$ $V_d = 0,982k_2$

Авторами ранее была установлена «рабочая зона» концентраций [1, 5] для указанных реагентов ($5,1 \cdot 10^{-5}$ - $76 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и на рисунках 2-3 показаны скорости адсорбции (2) исследуемых реагентов, где точки M1 и M2 – точки пересечения при выбранном значении $k_1 = 2$ м²/(моль·с) константы скорости адсорбции и зависимостей скорости адсорбции в пределах рабочей зоны при температуре 298 К. Сплошная прямая при нижнем значении, пунктирная линия – при верхнем значении концентрации. Результаты этих точек представлены в табл. 3-4.

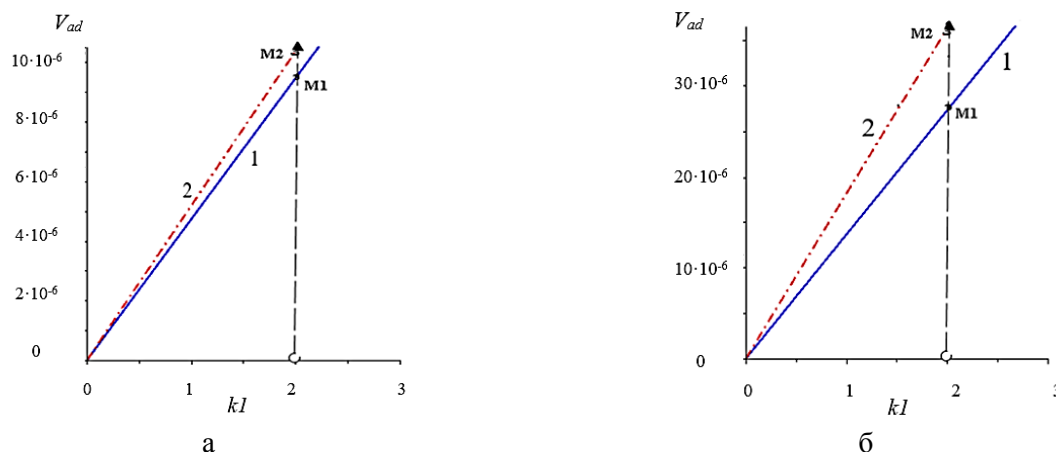


Рис. 3. Изменение скорости адсорбции для (а) ФХЛС и (б) ФХЛС-2М Зависимость скорости адсорбции при $c=5,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л; Зависимость скорости адсорбции при $c=76 \cdot 10^{-5}$ моль/л; M1, M2 – расчетные точки пересечения при одной и той же константе скорости адсорбции

Fig. 3. Change in the adsorption rate for (a) FCLC and (b) FCLC-2M 1- Dependence of the adsorption rate at $c=5.1 \cdot 10^{-5}$ mol/l; 2- Dependence of the adsorption rate at $c=76 \cdot 10^{-5}$ mol/l; M1, M2 – calculated intersection points at the same adsorption rate constant

Таблица 4

Расчет скоростей адсорбции для $c=76 \cdot 10^{-5}$ моль/л при выбранной константе $k_1=2$ м²/(моль·с)

Table 4. Calculation of adsorption rates for $c=76 \cdot 10^{-5}$ mol/l at the selected constant $k_1=2$ m²/(mol·s)

Объекты	M2, $V_{ad} = V_d, 10^{-6}$ м/с	$k_2, \frac{1}{m \cdot c}, 10^6$	Θ	Эмпирическая зависимость скоростей
ЛСТ	224,55	263,5	0,85	$V_{ad} = 0,000263k_1$ $V_d = 0,852k_2$
ФХЛС	10,3	10,4	0,99	$V_{ad} = 0,0000052k_1$ $V_d = 0,993k_2$
ФХЛС-2М	36,32	372,1	0,976	$V_{ad} = 0,0000182k_1$ $V_d = 0,976k_2$
Н-ЛСТ	1,81	1,8	0,998	$V_{ad} = 89,03 \cdot 10^{-7}k_1$ $V_d = 0,9988k_2$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для технологии промывки и цементирования скважин адсорбционные явления имеют огромное значение [10-14, 16-20]. Как правило, технологические жидкости представляют собой суспензии, и твердая фаза буровых и тампонирующих растворов является хорошим адсорбентом. При контакте бурового раствора с горными породами проходит ряд физико-химических процессов на границе раздела фаз «горная порода:промывочная жидкость». Частицы горных пород, слагающих стенки скважины, являются адсорбентами компонентов бурового раствора, что является важнейшей характеристикой эффективности работы реагентов в составе бурового раствора, сущность которых благоприятствовать формированию устойчивого ствола скважины [15, 17, 21].

В соответствии с целью исследования по результатам вычислений на основе экспериментальных данных авторами получены закономерности кинетики процесса мономолекулярной адсорбции для исследуемых реагентов.

При использовании мономолекулярной адсорбции для исследования рассмотренных лигносульфонатных систем приняты во внимание следующие свойства:

- 1) динамическое равновесие двух симметричных процессов – адсорбции и десорбции, так называемая термодинамическая обратимость;
- 2) малая энергия активации, а, следовательно, большая скорость протекания адсорбции (табл. 4).

ВЫВОДЫ

Выявлено, что адсорбция на твердой поверхности исследуемых лигносульфонатных систем в системе «раствор-глина» является физической (табл. 2).

Получены значения среднего времени нахождения адатома на границе поверхности «раствор-глина». Самое большое время у сульфитного лигносульфонат ЛСТ ($759 \cdot 10^{-8}$ с), меньшее $0,11 \cdot 10^{-8}$ с у Н-ЛСТ.

Получены эмпирические зависимости скоростей адсорбции и значения скоростей адсорбций для «рабочей» зоны концентраций ($5,1 \cdot 10^{-5} - 76 \cdot 10^{-5}$ моль/л):

- для ЛСТ (73 – 224) мкм/с;
- для ФХЛС (9,4 – 10,3) мкм/с;
- для ФХЛС-2М (27,2 – 36,3) мкм/с;
- для Н-ЛСТ (1,77 – 1,8) мкм/с.

Таким образом, лучшими регентами по адсорбционным характеристикам получились сульфитный лигносульфонат ЛСТ и модифицированной формы на основе нейтрального лигносульфоната поливалентными катионами и фосфоновыми группами этидроновой кислоты [20] – феррохромлигносульфонат ФХЛС-2М, поскольку скорость адсорбции ЛСТ почти в 125 раз, а скорость адсорбции ФХЛС-2М, более чем в 20 раз превышает ско-

рость адсорбции Н-ЛСТ при максимальной «рабочей концентрации». Кроме экспериментальных исследований эффективность исследуемых реагентов ЛСТ и ФХЛС-2М также подтверждается промышленными испытаниями.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тептерева Г.А., Пахомов С.И., Четвертнева И.А., Каримов Э.Х., Егоров М.П., Мовсумзаде Э.М., Евстигнеев Э.И., Васильев А.В., Севастьянова М.В., Волошин А.И., Нифантьев Н.Э., Носов В.В., Докичев В.А., Бабаев Э.Р., Роговина С.З., Берлин А.А., Фахреева А.В., Баулин О.А., Колчина Г.Ю., Воронов М.С., Староверов Д.В., Козловский И.А., Козловский Р.А., Тарасова Н.П., Занин А.А., Кривобородов Е.Г., Каримов О.Х., Флид В.Р., Логинова М.Е. Возобновляемые природные сырьевые ресурсы, строение, свойства, перспективы применения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 9. С. 4-121. DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
2. Когановский А.Н., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. Адсорбция органических веществ из воды Л.: Химия. 1990. 256 с.
3. Мовсумзаде Э.М., Тептерева Г.А., Четвертнева И.А., Каримов О.Х., Логинова М.Е. Перспективы применения продуктов переработки древесного сырья. М.: Обракademнаука. 2021. 134 с.
4. Колчина Г.Ю., Тептерева Г.А., Каримов О.Х., Чуйко Е.В., Каримов Э.Х., Мовсумзаде Э.М., Логинова М.Е. Гетероатомные модификаторы в процессах адсорбции и мембранной диффузии. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 12-19. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6610.
5. Логинова М.Е., Мовсумзаде Э.М., Тептерева Г.А., Пугачев Н.В., Четвертнева И.А. Вариабельность мономолекулярной адсорбции лигносульфонатных систем. *Росс. хим. журн*. 2022. Т. 66. № 1. С. 35-41.
6. Логинова М.Е., Тептерева Г.А., Мовсумзаде Э.М., Ахтямов Э.К. Физические аспекты сравнительных адсорбционных характеристик реагентных систем на основе лигносульфонатов. *Транспорт и хранение нефтепрод. и углеводород. сырья*. 2022. № 1-2. С. 81-84. DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-00-00.
7. Филатова Е.Г., Соболева В.Г. Извлечение нефти и нефтепродуктов из водных растворов природными адсорбентами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 6. С. 131-137. DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5836.
8. Lei S., Hui Z., Heng Z., Dongsheng X., Невский А.В. Изучение механизма действия композиционных коагулянт-флокулянтов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 1. С. 29-38. DOI: 10.6060/ivkkt.20206301.6013.
9. Терехов С.В., Варюхин В.Н. Физика нанообъектов. Донецк: ДонНУ. 2013. 418 с.

REFERENCES

1. Teptereva G.A., Pakhomov S.I., Chetvertneva I.A., Karimov E.H., Egorov M.P., Movsumzade E.M., Evstigneev E.I., Vasiliev A.V., Sevastyanova M.V., Voloshin A.I., Nifantsev N.E., Nosov V.V., Dokichev V.A., Babaev E.R., Rogovina S.Z., Berlin A.A., Fakhreeva A.V., Baulin O.A., Kolchina G.Yu., Voronov M.S., Staroverov D.V., Kozlovsky I.A., Kozlovsky R.A., Tarasova N.P., Zanin A.A., Krivoborodov E.G., Karimov O.Kh., Flid V.R., Loginova M.E. Renewable natural raw materials. structure, properties, application prospects. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 9. P. 4-121 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
2. Koganovsky A.N., Klimenko N.A., Levchenko T.M., Roda I.G. Adsorption of organic substances from water. L.: Khimiya. 1990. 256 p. (in Russian).
3. Movsumzade E.M., Teptereva G.A., Chetvertneva I.A., Karimov O.H., Loginova M.E. Prospects for the use of wood processing products; ed. Academician M.P. Egorova. M.: Obrakademnauka. 2021. 134 p. (in Russian).
4. Kolchina G.Yu., Teptereva G.A., Karimov O.Kh., Chuiko E.V., Karimov E.Kh., Movsumzade E.M., Loginova M.E. Heteroatomic modifiers in the processes of adsorption and membrane diffusion. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 12-19 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6610.
5. Loginova M.E., Movsumzade E.M., Teptereva G.A., Pugahev N.V., Chetvertneva I.A. Variability of monomolecular adsorption of lignosulfonate systems. *Russ. Khim. Zhurn*. 2022. V. 66. N 1. P. 35-41 (in Russian).
6. Loginova M.E., Teptereva G.A., Movsumzade E.M., Akhtyamov E.K. Physical aspects of comparative adsorption characteristics of reagent systems based on lignosulfonates. *Transport Khranenie Nefteprod. Uglevodород. Syr'ya*. 2022. N 1-2. P. 81-84. (in Russian). DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-00-00.
7. Filatova E.G., Soboleva V.G. Extraction of oil and petroleum products from water solutions by natural adsorbents. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 6. P. 131-137 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5836.
8. Lei Sun, Hui Zhao, Heng Zhong, Dongsheng Xia, Nevsky A.V. Study on composite coagulants-flocculants mechanism action. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 1. P. 29-38 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206301.6013.
9. Terekhov S.V., Varyukhin V.N. Physics of nanoobjects. Donetsk: DonNU. 2013. 418 p. (in Russian).

10. **Логинава М.Е., Четвертнева И.А., Исмаков Р.А., Мовсумзаде Э.М., Ахтямов Э.К., Чуйко Е.В.** Об особенностях вычислений концентраций при адсорбции методом поверхностного натяжения. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводород. сырья.* 2022. № 3-4. С. 56-60.
11. **Лукманов Р.Р., Антонов К.В., Шарипов А.У., Четвертнева И.А.** Эффективность бурения и заканчивания скважин при применении полимерных растворов. М.: ВНИИОЭНГ. 1995. 31 с.
12. **Тептерева Г.А., Логинава М.Е., Конесев В.Г.** Спектрофотометрические характеристики лигносульфонатов различных способов получения. *Нефтегаз. дело: электрон. науч. журн.* 2018. № 6. С. 98-114. DOI: 10.17122/ogbus-2018-6-98-114.
13. **Ибатуллин В.В., Логинава М.Е., Дихтырь Т.Д.** Синтетические промывочные жидкости для бурения скважин в сложных горно-геологических условиях. Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. "Современные технологии в нефтегазовом деле – 2019". 2019. С. 328-331.
14. **Гирфанов В.Т., Логинава М.Е.** Исследование реологических свойств бурового раствора. Тез. III науч.-практ. конф. с междунар. уч. «Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации, 2018». Самара: Изд-во СГТУ. 2018. С. 54.
15. **Логинава М.Е., Тептерева Г.А., Баулин О.А., Мовсумзаде Э.М., Бабкина А.А., Четвертнева И.А., Чуйко Е.В., Ахтямов Э.К.** Синергетический эффект композиций крахмала и камеди для дисперсионных сред. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводород. сырья.* 2022. № 1-2. С. 83-87. DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-83-87.
16. **Нисина О.Е., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К., Куликов М.А.** Исследование процесса извлечения примеси сульфата кальция из галитовых отходов различного происхождения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 4. С. 101-107. DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6483.
17. **Конесев В.Г., Четвертнева И.А., Тептерева Г.А.** Особенности методологии выбора растворов первичного вскрытия продуктивных пластов на основе проведения фильтрационных экспериментов на керне. *Изв. Томск. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов.* 2020. Т. 331. № 11. С. 168-175.
18. **Четвертнева И.А., Беленко Е.В., Гайсин И.Ф.** Особенности бурения глинисто-аргиллитовых пород Волго-уральского региона. *Нефть. Газ. Новации.* 2019. № 6. С. 49-52.
19. **Четвертнева И.А., Тептерева Г.А., Гайсин И.Ф., Шавшукова С.Ю.** Оценка эффективности применения биополимерных буровых реагентов при бурении горизонтальных стволов. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводород. сырья.* 2019. № 2. С. 40-43.
20. **Логинава М.Е., Конесев В.Г., Тептерева Г.А., Мовсумзаде Э.М., Бабушкин Э.В., Буянова М.Г.** Обоснование рецептуры модифицированного бурового раствора для применения при строительстве скважин севера Западной Сибири. *Науч. труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР.* No. 1 (2022) 015-018 № 3. С. 13-19.
21. **Четвертнева И.А., Каримов О.Х., Тептерева Г.А., Мовсумзаде Э.М.** Возможности повышения качественных характеристик неактивных нейтральных лигносульфонатов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 10. С. 53-58. DOI: 10.6060/ivkkt.20206310.6240.
10. **Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Ismakov R.A., Movsumzade E.M., Akhtyamov E.K., Chuiko E.V.** On the peculiarities of concentration calculations during adsorption by surface tension method. *Transport Khranenie Nefteprod. Uglevodород. Syr'ya.* 2022. N 3-4. P. 56-60 (in Russian).
11. **Lukmanov R.R., Antonov K.V., Sharipov A.U., Chetvertneva I.A.** Efficiency of drilling and completion of wells when using polymer solutions. М.: VNIIOENG. 1995. 31 p. (in Russian).
12. **Teptereva G.A., Loginova M.E., Konesev V.G.** Spectrophotometric characteristics of lignosulfonates of various production methods. *Neftegaz. Delo: Electron. Nauch. Zhurn.* 2018. N 6. P. 98-114. (in Russian). DOI: 10.17122/ogbus-2018-6-98-114.
13. **Ibatullin V.V., Loginova M.E., Dichtyar T.D.** Synthetic flushing fluids for drilling wells in difficult mining and geological conditions. Proc. Of internat. sci-tech. conf. "Modern technologies in the oil and gas business – 2019". 2019. P. 328-331 (in Russian).
14. **Girfanov V.T., Loginova M.E.** Investigation of rheological properties of drilling mud. Art. III Sci. and pract. conf. with inter. part. "Oil and gas complex: problems and innovations, 2018". Samara: Izd-vo SSTU. 2018. P. 54 (in Russian).
15. **Loginova M.E., Teptereva G.A., Baulin O.A., Movsumzade E.M., Babkina A.A., Chetvertneva I.A., Chuiko E.V., Akhtyamov E.K.** Synergetic effect of starch and gum compositions for dispersion media. *Transport Khranenie Nefteprod. Uglevodород. Syr'ya.* 2022. N 1-2. P. 83-87 (in Russian). DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-83-87.
16. **Nisina O.E., Lanovetskiy S.V., Kosvintsev O.K., Kulikov M.A.** Study of the extraction process of calcium sulfate impurity from halite wastes of various origins. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2022. V. 65. N 4. P. 101-107 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6483.
17. **Konesev V.G., Chetvertneva I.A., Teptereva G.A.** Features of the methodology for the selection of solutions for the primary opening of productive layers based on filtration experiments on the core. *Izv. Tomsk. Politekh. Univ. Inzhiniring Georesursov.* 2020. V. 331. N 11. P. 168-175 (in Russian).
18. **Chetvertneva I.A., Belenko E.V., Gaisin I.F.** Features of drilling clay-mudstone rocks of the Volga-Ural region. *Neft'. Gaz. Innovatsii.* 2019. N 6. P. 49-52 (in Russian).
19. **Chetvertneva I.A., Teptereva G.A., Gaisin I.F., Shavshukova S.Yu.** Evaluation of the effectiveness of the use of biopolymer drilling reagents when drilling horizontal shafts. *Transport Khranenie Nefteprod. Uglevodород. Syr'ya.* 2019. N 2. P. 40-43 (in Russian).
20. **Loginova M.E., Konesev V.G., Teptereva G.A., Movsumzade E.M., Babushkin E.V., Buyanova M.G.** Substantiation of the formulation of modified drilling mud for use in the construction of wells in the North of Western Siberia. *Nauch. Trudy NIPI Neftegaz GNKAR.* No. 1 (2022) 015-018 N 3. P. 13-19 (in Russian).
21. **Chetvertneva I.A., Karimov O.Kh., Teptereva G.A., Movsumzade E.M.** Possibilities of improving quality characteristics of inactive neutral lignosulfonates. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2020. V. 63. N 10. P. 53-58 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206310.6240.

Поступила в редакцию (Received) 18.10.2022

Принята к опубликованию (Accepted) 10.01.2023