

УДК 541.183.7+661.185.2+622.276

Г.А. Тептерева¹, e-mail: teptereva.tga@yandex.ru; **С.Ю. Шавшукова**¹, e-mail: sshavshukova@mail.ru;

Г.К. Чуктуров¹; **Г.В. Конесев**¹, e-mail: Konecev.burenie@mail.ru; **Ф.А. Агзамов**¹, e-mail: faritag@yandex.ru

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Уфа, Республика Башкортостан, Россия).

Адсорбция на неорганических материалах лигносульфонатов различных способов получения

Одними из наиболее сложных физико-химических процессов при бурении скважин являются адсорбционные взаимодействия на границе раздела «горная порода – жидкость». При строительстве и эксплуатации нефтегазовых скважин такой жидкостью может быть пластовая вода, нефть, технологическая жидкость или ее фильтрат. Количественной характеристикой эффективности указанных процессов являются такие величины, как работа адсорбции, размеры молекул адсорбтива, емкость адсорбционного слоя, толщина защитной пленки, образующейся на границе раздела фаз. Целью работы являлось проведение сравнительных исследований адсорбционных свойств лигносульфонатов, используемых в буровой технологии. Изучено влияние способов получения лигносульфонатов на величину адсорбционных потерь, связанную со снижением концентрации раствора при адсорбции на моделях горных пород, в качестве которых использованы глина и кварцевый песок. Установлено, что лигносульфонаты нейтрально-сульфитного способа получения, хорошо снижая поверхностное натяжение растворов и имея значительно меньшие величины адсорбционных потерь, характеризуются, по сравнению с сульфитными лигносульфонатами, меньшими площадью и длиной молекул, что практически исключает явление хемосорбции и не способствует образованию прочных сорбционных пленок на границе «горная порода – буровой раствор». Проведенными расчетами также показано, что работа адсорбции для нейтрально-сульфитного лигносульфоната десятикратно уступает лигносульфонату сульфитному, что практически исключает электростатические взаимодействия на межфазной границе, препятствуя образованию адсорбционного слоя, связанного с поверхностью горных пород. Указанное отражается в уменьшении эффективности буровых реагентов на основе нейтрально-сульфитного лигносульфоната, снижая тем самым показатели буримости горных пород и параметры стабилизации дисперсных систем буровых растворов как промывочного, так и тампонажного назначения.

Ключевые слова: лигносульфонаты, горные породы, работа адсорбции, адсорбционные пленки, твердые фазы.

.....

Г.А. Тептерева¹, e-mail: teptereva.tga@yandex.ru; **С.Ю. Шавшукова**¹, e-mail: sshavshukova@mail.ru;

Г.К. Чуктуров¹; **Г.В. Конесев**¹, e-mail: Konecev.burenie@mail.ru; **Ф.А. Агзамов**¹, e-mail: faritag@yandex.ru

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia).

Non-Organic Materials Adsorption of Lignosulphonates Obtained in a Number of Different Ways

One of the most complex physicochemical processes in drilling of wells is adsorptive interactions at the interface of rocks. In the construction and operation of oil and gas wells, the latter may be formation water, oil, process fluid or its filtrate. Quantitative characteristics of the effectiveness of these processes are quantities such as work of adsorption, dimensions of adsorbent molecules, the capacity of the adsorption layer, the thickness of the protective membrane formed at the interface. The aim of the work was to carry out comparative studies of the adsorption properties of lignosulphonates used in drilling technology. In this work the influence of the methods of obtaining lignosulphonates on the adsorption losses associated with the decrease in the concentration of the solution during adsorption on rock models, such as clay and quartz sand, was studied. It has been established that lignosulphonates can be obtained through neutral-sulphite method. Lignosulphonates reduces the surface tension of solutions and has significantly lower adsorption losses, in comparison with sulphite lignosulphonates, which has smaller area and length of molecules, that practically excludes the phenomenon of chemisorption and does not contribute to the formation of strong sorption membrain of «rock formation – drilling mud». The calculations carried out also showed that the adsorption work for neutral sulphite lignosulphonate is

ten times lignosulphonate sulphite, which practically excludes electrostatic interactions at the interface, preventing the formation of an adsorption layer associated with the surface of rocks. This is reflected in a decrease in the efficiency of drilling reagents based on neutral-sulphite lignosulphonate, thereby reducing the rock drillability and the stabilization parameters of disperse systems of drilling muds both for washing and plugging purposes.

Keywords: lignosulphonates, rocks, the work of adsorption, the adsorption film of the solid phase.

Адсорбция является важной характеристикой физико-химических процессов на границе раздела «горная порода – жидкость». При бурении горных пород адсорбция оказывает непосредственное влияние на понижение избыточной поверхностной энергии на границе «горная порода – промывочная жидкость», что улучшает характеристики процесса разрушения пород и является одним из основных проявлений эффекта Ребиндера [1–3].

Уменьшение избыточной поверхностной энергии горных пород происходит в результате адсорбции на них молекул адсорбтива. В этом качестве широко применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эффективность процесса адсорбционного понижения прочности определяется свойствами ПАВ и породы, а также прочностью связи адсорбционного слоя с новообразованной поверхностью. Известно, что в результате адсорбции ПАВ на поверхности пород образуются адсорбционно-сольватные слои, формирование которых происходит вне зависимости от наличия или отсутствия заряда на поверхности [4]. При последующем механическом воздействии породы диспергируются, а на их вновь образованной поверхности сорбируются молекулы ПАВ. Первичный адсорбционный слой на заряженных поверхностях частиц горной породы трансформируется, создаются условия для более активной сольватации, следствием которой может быть уменьшение потерь энергии на трение, снижение вязкости растворов, улучшение эффективности выноса шлама в скважинах сложного профиля [9]. Анионные ПАВ, такие как сульфонолы, лигносульфонаты и др.,

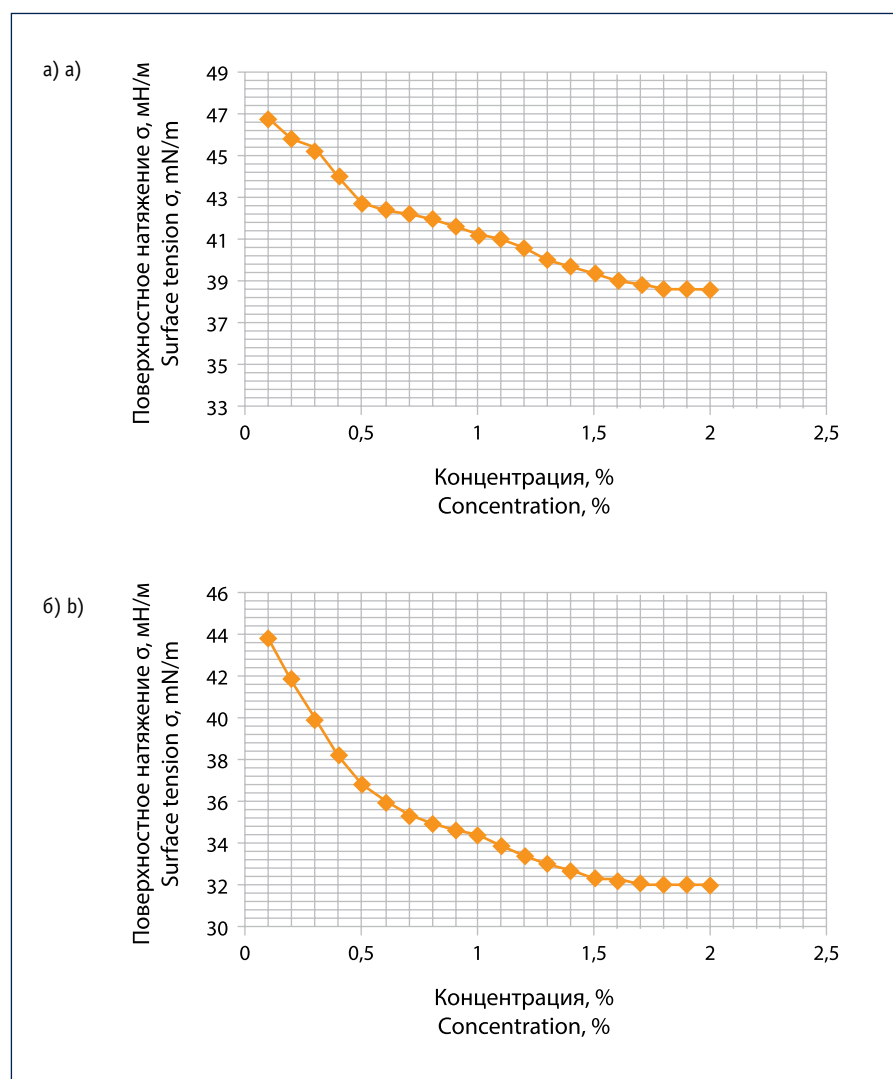


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации растворов лигносульфонатов:

а) сульфитного лигносульфоната; б) нейтрально-сульфитного лигносульфоната

Fig. 1. Dependence of the surface tension on the lignosulphonate solution concentration of:

а) sulphite sulphonate; б) neutral-sulphite lignosulphonate

способствуют пептизации и стабилизации дисперсии выбуренных частиц. При этом на частицах выбуренной горной породы, входящих в контакт с

раствором ПАВ, проходят адсорбционные процессы, следствием которых является снижение концентрации ПАВ, в частности лигносульфоната, в резуль-

Ссылка для цитирования (for citation):

Тептерева Г.А., Шавшукова С.Ю., Чуктуров Г.К., Конесев Г.В., Агзамов Ф.А. Адсорбция на неорганических материалах лигносульфонатов различных способов получения // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 9. С. 66–71.

Teptereva G.A., Shavshukova S.Yu., Chukturov G.K., Konesev G.V., Agzamov F.A. Non-Organic Materials Adsorption of Lignosulphonates Obtained in a Number of Different Ways (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 9, P. 66–71.

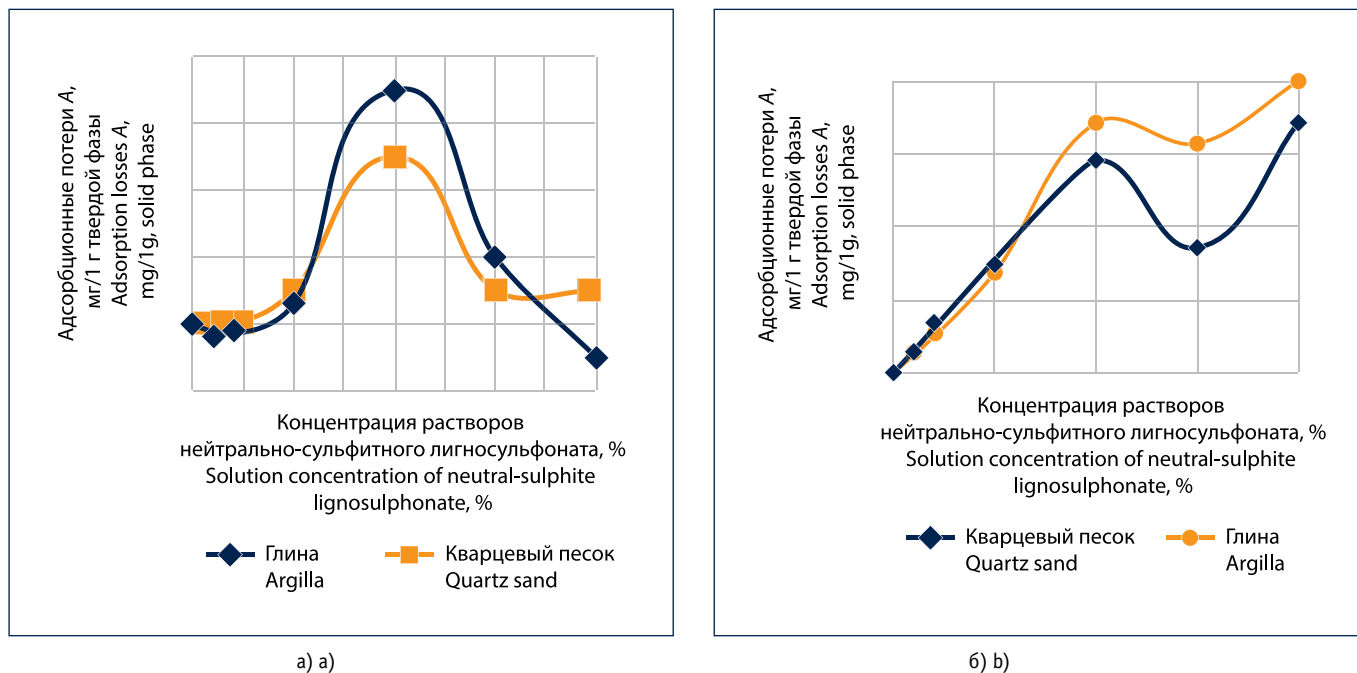


Рис. 2. Изотермы адсорбции (адсорбционных потерь) лигносульфонатов на образцах глины и кварцевого песка:

а) нейтрально-сульфитного лигносульфоната; б) сульфитного лигносульфоната

Fig 2. Adsorption isotherms (adsorption losses) of lignosulphonates in clay and quartz sand samples:

а) neutral- sulphite lignosulphonate; б) sulphite lignosulphonate

тате выноса шлама с адсорбированным на нем ПАВ из кольцевого пространства скважины на поверхность. Поэтому именно адсорбционная способность является характеристикой обменных процессов на поверхности раздела фаз «порода – раствор» при разбуривании интервалов горных пород. В целом характер и величина работы адсорбции связаны с устойчивостью дисперсных систем типа коллоидных растворов, используемых в практике бурения скважин [2–5].

Целью работы является исследование особенностей адсорбционных свойств лигносульфонатов различного способа получения по отношению к моделям горных пород и расчет работы их адсорбции на границе раздела «горная порода – буровой раствор».

В качестве моделей горных пород использовались образцы кварцевого песка и глины, составляющих основу горных пород типа песчаников и аргиллитов [5, 9].

Для определения адсорбционных характеристик и расчета работы адсорбции предварительно были построены зависимости межфазного поверхностного натяжения на границе «водный

раствор лигносульфоната – керосин» от концентрации лигносульфонатов сульфитного (рН 4,0) и нейтрально-сульфитного (рН 7,0) способов получения (делигнификации).

В работе использован наиболее известный метод определения поверхностного натяжения – сталагмометрический (метод счета капель), по которому поверхностное натяжение на границе двух жидкостей определяется по формуле: $\sigma = kV(\rho_1 - \rho_2)$, мН/м, где k – постоянная капилляра, равная 47,5 (поверхностное натяжение керосина на границе с дистиллированной водой, мН/м).

Измерения проводились на приборе сталагмометре «Рубин 02-А». Определено поверхностное натяжение (σ) растворов лигносульфонатов сульфитного и нейтрально-сульфитного способов получения различной концентрации (C) и построены зависимости в координатах $\sigma = f(C)_{\text{ЛСТ}}$ (рис. 1).

Данные рис. 1 (а, б) показывают, что у нейтрально-сульфитного лигносульфоната способность к снижению поверхностного натяжения выше, чем у лигносульфоната сульфитного щелока. По данным рис. 1 построены изотермы адсорбции (кривые адсорбционных по-

терь). Построение изотерм адсорбции проводилось по методике [2, 3], сущность которой заключается в измерении величины поверхностного натяжения растворов различной концентрации на границе «жидкость – жидкость» до и после 24-часового контакта с частицами твердой фазы (рис. 2).

Указанные характеристики были замечены при адсорбции сульфитного и нейтрально-сульфитного лигносульфонатов на поверхности глины и песчаника, представленных бентонитовой глиной и кварцевым песком ультрамелкой степени дисперсности.

Изотермы адсорбции представлены на рис. 2. Рис. 2а и 2б показывают различный характер адсорбции лигносульфонатов на твердых фазах. Видно, что численные величины адсорбционных потерь на твердых фазах для нейтральных лигносульфонатов сопоставимы, что подтверждает их характеристику как систем с низкой реакционной способностью [7]. Однако на глинистом минерале, способном к хемосорбции и созданию обменных комплексов, адсорбционные потери несколько выше, чем на кварцевом песке, что может быть связано с наличием

Таблица 1. Расчет величины гиббсовской адсорбции аналитическим методом

Table 1. Calculating Gibbs' adsorption with the analytical method

$C_{cp} \cdot 10^{-5}$, моль/л $C_{average} \cdot 10^{-5}$, mole/l	$\Delta C \cdot 10^{-5}$, моль/л $\Delta C \cdot 10^{-5}$, mole/l	$\Delta\sigma$, мН/м $\Delta\sigma$, mN/m	$\Gamma \cdot 10^{-6}$, моль/м ² $\Gamma \cdot 10^{-6}$, mole/m ²	C_{cp}/Γ , м ² /л $C_{average}/\Gamma$, m ² /l
3,33	4,44 – 2,22 = 2,22	46,02 – 48,16 = –2,14	1,29	25,81
5,55	6,66 – 4,44 = 2,22	44,36 – 46,02 = –1,66	1,67	33,20
7,73	8,8 – 6,66 = 2,14	41,5 – 43,36 = –1,86	2,7	28,61
9,95	11,1 – 8,8 = 2,3	39,6 – 41,5 = –1,9	3,31	30,06
16,65	22,2 – 11,1 = 11,1	33,87 – 39,6 = –5,73	3,46	48,12
27,75	33,3 – 22,2 = 11,1	29,61 – 33,87 = –4,26	4,29	64,68
38,85	44,4 – 33,3 = 11,1	26,09 – 29,61 = –3,52	4,97	78,12

заряда на частицах глины. К тому же для кривых адсорбции на глинистом минерале характерна тенденция к переходу молекул из поверхностного слоя в объем фазы и созданию эффекта «кажущейся» адсорбции с переходом в область отрицательных значений. По Г.А. Бабаляну [2], подобное характерно для многокомпонентных систем ионогенных ПАВ и позволяет отнести полученные кривые к третьему типу изотерм адсорбции.

Характер изотерм адсорбции на кварцевом песке указывает на тенденцию к выстраиванию молекулами лигносульфонатов как сульфитного, так и нейтрального способов получения второго молекулярного адсорбционного слоя. Подобный тип кривых относится ко второму типу изотерм адсорбции, характерному для многокомпонентных систем, склонных к мицеллообразованию, характерному для коллоидных систем, к которым относятся лигносульфонаты [1, 4–10].

При этом сульфитные лигносульфонаты характеризуются большей численной величиной адсорбционных потерь по сравнению с лигносульфонатами нейтрально-сульфитной варки как на кварцевом песке, так и на глине. Это согласуется с данными, указывающими, что для глинистых минералов характер адсорбции зависит от значения pH и концентрации адсорбтива в поверхностном слое [4, 8, 9]. При увеличении концентрации растворов происходят нейтрализация заряда поверхности и перезарядка. Также известно, что если концентрация адсорбтива в поверхностном слое адсорбента меньше, чем в объеме, то адсорбция является

отрицательной, что наблюдается для нейтрально-сульфитного лигносульфоната, растворимость которого снижена по сравнению с лигносульфонатом сульфитного способа получения [7].

По кривой зависимости поверхностного натяжения от концентрации растворов лигносульфонатов (рис. 1) определены равновесные концентрации ПАВ после адсорбции и рассчитана величина адсорбционных потерь по формуле:

$$A_{\infty} = \frac{S_{уд}}{N_A \cdot S_0}, \text{ моль/г,}$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность адсорбента (поверхность, приходящаяся на одну единицу массы адсорбента), м²/г; N_A – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль); S_0 – площадь молекулы (молекулярной площадки), м².

Полученные результаты приводятся в виде таблиц и изотерм адсорбционных потерь в координатах $A = f(C)$. Адсорбционные потери можно квалифицировать как величину относительной адсорбции при малых концентрациях ПАВ (при расчете работы адсорбции), что графически выражается крутизной подъема кривой адсорбционных потерь в координатах $A = f(C)$.

Определение поверхностного натяжения, как и расчет величины адсорбционных потерь, проводились из трех параллельных измерений для каждой пробы лигносульфоната [2, 3, 9, 10].

Как известно, для количественного описания адсорбции кроме определения адсорбционных потерь используется расчет величины гиббсовской адсорбции, характеризующей избыточное число моль адсорбата в поверхностном слое по отношению к числу моль в

адсорбционном объеме. Определение гиббсовской адсорбции (Γ) проводится по формуле:

$$\Gamma = \frac{C_{cp}}{RT} \left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} \right),$$

где C_{cp} – средняя концентрация исследуемого раствора; R – газовая постоянная, $R = 8,314$ Дж/моль·К; T – температура, К; $\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} \right)$ – изменение поверхностного натяжения с изменением концентрации растворов.

Для нахождения величины гиббсовской адсорбции (Γ) аналитическим способом предварительно рассчитываются значение средней концентрации (C_{cp}), а также значения разности концентраций ΔC , поверхностного натяжения $\Delta\sigma$ и их отношения $\Delta\sigma/\Delta C$ между последовательными парами точек кривой. Расчет на примере сульфитного лигносульфоната при различных концентрациях растворов показал величины гиббсовской адсорбции, представленные в табл. 1.

Для нахождения величины предельной адсорбции Γ_{∞} была построена изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Ленгмюра $C/\Gamma = f(C)$ (рис. 3).

По изотерме Ленгмюра рассчитывается предельная адсорбция Γ_{∞} как ctg угла наклона прямой:

$$\Gamma_{\infty} = \frac{1}{\text{tg}\alpha} = 6 \cdot 10^{-6}, \text{ моль/м}_2 -$$

предельная адсорбция при концентрации вещества, адсорбированного 1 м² межфазной поверхности, моль/м².

По величине предельной адсорбции Γ_{∞} определяются площадь молекулы S_0 и толщина δ адсорбционной пленки:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_\infty \cdot N_A} = \frac{1}{6 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,27 \cdot 10^{-16}, \text{ м}^2 - \text{площадь молекулы};$$

$$\delta = \frac{\Gamma_\infty \cdot M}{\rho} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{моль}}{\text{м}^2} \cdot 43000 \text{ г/моль}}{1,2 \text{ г/см}^3} = 0,215 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2 - \text{толщина слоя адсорбционной пленки}.$$

Для расчета работы адсорбции определялась полная адсорбция Γ_p или, по Е.Д. Щукину, адсорбция, которая зачастую равна половине предельной адсорбции [10]:

$$\Gamma_p = \frac{\Gamma_\infty}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2.$$

Определяется адсорбционная активность A , физический смысл которой заключается в отношении констант скоростей адсорбции и десорбции [10]:

$$A = \frac{\Gamma_p}{\Gamma_\infty} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2}{6 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2} = 0,5,$$

и наконец, работа адсорбции для сульфитного лигносульфоната составит:

$$W_{\text{адс}} = \omega = R \cdot T \cdot \ln \frac{A \cdot \Gamma_{\text{max}}}{\delta} = 8,314 \cdot 298 \cdot \ln 13,95 = 6530,2 \text{ Дж}.$$

Аналогичный расчет, проведенный для нейтрально-сульфитного лигносульфоната, позволяет получить сравнительную характеристику площади молекул и толщины адсорбционных слоев, а также работы адсорбции (табл. 2) для лигносульфонатов различных способов получения.

Видно, что для нейтрального лигносульфоната величина предельной адсорбции, а следовательно, и работы адсорбции значительно уступает по численным величинам аналогичным характеристикам сульфитного лигносульфоната. Указанное позволяет объяснить причину низких эксплуатационных качеств нейтрального лигносульфоната при использовании его в качестве понизителя вязкости и фильтрации буровых промывочных жидкостей, поскольку невысокая молекулярная масса нейтрального лигносульфоната (порядка 4000–4300 г/моль) в совокупности со сравнительно небольшой площадью

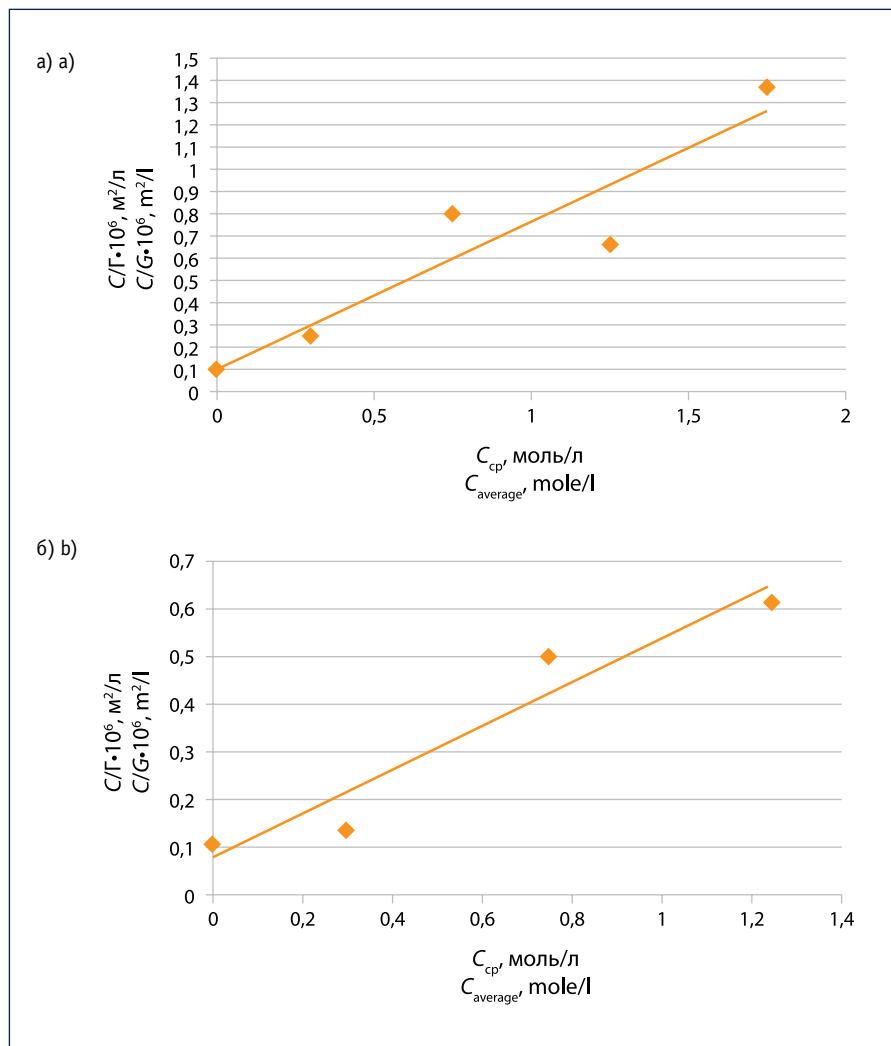


Рис. 3. Изотермы адсорбции Ленгмюра: а) для сульфитного и б) нейтрально-сульфитного лигносульфонатов
Fig. 3. Langmuir's adsorption isotherms: а) for sulphite and б) neutral-sulphite lignosulphonates

молекулы (на 25 % меньше площади молекулы сульфитного лигносульфоната) определяют десятикратно меньший уровень работы, которую необходимо затратить для отрыва сорбционной пленки нейтрального лигносульфоната при адсорбции 1 моль его на поверхности горной породы.

При этом необходимо отметить, что сорбционные потери нейтрального лигносульфоната также значительно уступают численным величинам потерь лигносульфоната сульфитного способа получения, что коррелирует с последующими расчетами площади молекул, толщины адсорбционного слоя и работы адсорбции как характеристик по перемещению 1 моль анализируемого

вещества из поверхностного слоя в объем. К тому же расчет работы адсорбции подтверждается экспериментальными данными по величинам адсорбционных потерь, которые для сульфитного лигносульфоната кратно превышают потери нейтрального лигносульфоната на твердых фазах.

Таким образом, адсорбция лигносульфонатов, полученных по различной технологии делигнификации древесины, имеет значимые отличия как по характеру кривых (изотерм адсорбции), так и по численным величинам, что может оказывать непосредственное влияние на технологические характеристики буровых реагентов, получаемых на лигносульфонатной основе.

Таблица 2. Расчетные величины предельной адсорбции Γ_{∞} , площади молекулы S_0 и толщины адсорбционного слоя δ различных способов получения
 Table 2. Calculated values of the maximum adsorption G_{∞} , molecule's area S_0 and adsorption layer's thickness, obtained in a number of different ways

Расчетные величины Calculated values	Исследуемые образцы лигносульфонатов Examined lignosulphonate samples	
	Нейтрально-сульфитный Neutral-sulphite	Сульфитный Suphite
$\Gamma_{\infty} \cdot 10^{-6}$, моль/м ² $G_{\infty} \cdot 10^{-6}$, mole/m ²	0,9	6,0
$S_0 \cdot 10^{-19}$, м ² $S_0 \cdot 10^{-19}$, m ²	1,8	2,7
$\delta = (\Gamma_{\infty} \cdot M) / \rho \cdot 10^{-6}$ $\delta = (G_{\infty} \cdot M) / \rho \cdot 10^{-6}$	0,112	0,215
$W_{\text{адс}} = RT \ln K_s$, Дж/моль $W_{\text{адс}} = RT \ln K_s$, J/mole	110,4	6530,2

Адсорбция ионных веществ регулируется направлением электростатических взаимодействий. Если ионы ПАВ замещают противоионы диффузной, а затем и штерновской части двойного электрического слоя, то этот процесс подобен хемосорбции, так как образуется адсорбционный слой, прочно связанный с поверхностью. Подобному условию соответствуют кислые сульфитные лигносульфонаты, молекулы которых занимают большую по сравнению с нейтральными лигносульфонатами

площадь, образуя более плотные сорбционные пленки. Наряду с этим часть ионов ПАВ может адсорбироваться по механизму физической сорбции, т. е. ориентируется углеводородным радикалом к негидратированным участкам поверхности. Таким образом, щелоки, получаемые в результате делигнификации древесины нейтрально-сульфитным способом, характеризуются меньшими адсорбционными потерями, хорошо снижают поверхностное натяжение растворов, однако, имея низкий

потенциал, не образуют устойчивых сорбционных пленок, практически не вступают во взаимодействие с компонентами горных пород, что исключает явление хемосорбции на межфазной границе и снижает эффективность и показатели буримости горных пород. Такова особенность поведения нейтрально-сульфитных щелоков как при непосредственном использовании их в составе буровых промывочных жидкостей, так и при получении буровых реагентов на их основе.

Литература:

1. Кистер Э.Г. Химическая обработка буровых растворов. М.: Недра, 1972. 392 с.
2. Бабалян Г.А., Кравченко И.И., Рудаков Г.В. Физико-химические основы применения поверхностно-активных веществ при разработке нефтяных пластов. М.: Гостоптехиздат, 1962.
3. Ребиндер П.А. Физико-химия флотационных процессов. М.: Metallurgizdat, 1933.
4. Zun Hsiao. Dunning H.D.G. of Phys., 1995, Vol. 59, 144.
5. Гаврилов Б.М. Лигно-полимерные реагенты для буровых растворов. Краснодар, 2004. 523 с.
6. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 714 с.
7. Тептерева Г.А. и др. Реакционная способность сульфитных щелоков как основы буровых реагентов // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 91–115.
8. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1982. 400 с.
9. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов: В 5 т. Т. 3. / Под общ. ред. В.П. Овчинникова. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 418 с.
10. Щукин Е.Д. и др. Коллоидная химия: Учеб. для ун-тов и химико-технологических вузов / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2004. 445 с.

References:

1. Kister E.G. Drilling Mud Chemical Treatment. Moscow, Nedra, 1972, 392 pp. (In Russian)
2. Babalyan G.A., Kravchenko I.I., Rudakov G.V. Physical and Chemical Properties of the Use of Surface-Active Substances when Developing Oil Formations. Moscow, Gostoptekhizdat, 1962. (In Russian)
3. Rebinder P.A. Physics and Chemistry of Flotation Processes. Moscow, Metallurgizdat, 1933. (In Russian)
4. Zun Hsiao. Dunning H.D.G. of Phys., 1995, Vol. 59, 144.
5. Gavrilov B.M. Lignopolymer Reagents for Drilling Muds. Krasnodar, 2004, 523 pp. (In Russian)
6. Nikitin N.I. Chemistry of Timber and Cellulose. Moscow, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1962, 714 pp. (In Russian)
7. Tepтерева T.A., et al. Reactive Capacity of Sulphite Liquors as the Base of Drilling Muds. Neftgazovoe delo = Oil and Gas Business, 2015, No. 3, P. 91–115. (In Russian)
8. Frolov Yu.G. Colloidal Chemistry Course. Surface Phenomena and Disperse Systems. Moscow, Khimiya, 1982, 400 pp. (In Russian)
9. Oil and Gas Well Drilling Technology – Guidebook for Higher Education Institutions: Issue 5, Vol. 3. Under the General Editorship of V.P. Ovchinnikov. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University, 2014, 418 pp. (In Russian)
10. Shchukin E.D., et al. Colloidal Chemistry – Guidebook for Universities and Chemical and Technological Higher Education Institutions. By E.D. Shchukin, A.V. Pertsov, E.A. Amelina. 3rd Ed., Amended and Revised. Moscow, Higher School, 2004, 445 pp. (In Russian)