

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 416 (2016), 52 – 57

INFLUENCE OF PH AND STANDARDS OF GLAUCONITE FOR ITS SORPTION OF COPPER (II) FROM AQUEOUS SOLUTIONS

U.Zh. Jussipbekov, R.M. Chernyakova, R.A. Kaiynbayeva,
N.N. Kozhabekova, G.Sh. Sultanbaeva, K.E. Yermekova, E.A. Tusupkaliev

JSC «Institute of Chemical Sciences named after A.B.Bekturov», Almaty, Kazakhstan.
E-mail:ics_rk@mail.ru

Keywords: cations of copper (II), natural glauconite, adsorption, pH, glauconite weight, the degree of sorption.

Abstract. It was investigated sorption capacity of glauconite from Ualihanov field with respect to copper ions (II), depending on the pH and the weight of the sorbent (S: L) under static conditions. It is shown that the highest degree of sorption of copper is achieved when all investigated pH values in the first 10 minutes of the process. The highest degree of purification ($K_c = 99.9\%$) copper-bearing aqueous solution takes place at a pH of 4. Increasing the acidity or alkalinity of the medium ($4 < \text{pH} > 4$) reduces the sorption capacity of glauconite in relation to the cations Cu^{2+} . It was revealed that the increase of weight of sorbent is in 2-4 times (5g up to 10-20g per 100g of solution) for all tested concentrations of copper significantly increases the degree of sorption. Sorption Cu^{2+} cations from aqueous media should be carried out at pH 4 for 10-15 minutes at 20°C and the ratio S:L ratio of 20:100.

УДК 541.183

Влияние pH среды и нормы глауконита на его сорбцию меди (II) из водных растворов

У.Ж. Джусипбеков, Р.М. Чернякова, Р.А. Кайынбаева,
Н.Н. Кожабекова, Г.Ш. Султанбаева, К.Е. Ермакова, Е.А. Тусупкалиев

АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: катионы меди (II), природный глауконит, сорбция, pH среды, масса глауконита, степень сорбции.

Аннотация. Исследована сорбционная способность глауконита Уалихановского месторождения по отношению к ионам меди (II) в зависимости от pH среды и массы сорбента (Т:Ж) в статических условиях. Показано, что наибольшая степень сорбции меди достигается при всех исследуемых значениях pH в первые 10 минут процесса. Наибольшая степень очистки ($K_c = 99,9\%$) медьсодержащего водного раствора имеет место при pH 4. Повышение кислотности или щелочности среды ($4 < \text{pH} > 4$) уменьшают сорбционную способность глауконита по отношению к катионам Cu^{2+} . Выявлено, что увеличение массы сорбента в 2-4 раза (с 5г до 10-20г на 100г раствора) для всех исследуемых концентраций меди существенно увеличивает степень сорбции. Сорбцию катионов Cu^{2+} из водных сред необходимо проводить при pH 4 в течение 10-15 минут при 20°C и соотношении Т: Ж равном 20:100.

Тяжелые металлы являются наиболее распространенными и опасными загрязнителями, поскольку их техногенное накопление в окружающей среде идет высокими темпами. В Казахстане накоплено более 20 млрд. т отходов производства и потребления, в том числе 6,7 млрд. т токсичных веществ. Тяжелые металлы способны мигрировать из техногенных отходов в почву, водоемы и накапливаться в растениях и живых организмах. Вследствие чего попадают в организм человека и оказывают отрицательное влияние на его здоровье. Из тяжелых металлов, таких Co , Ni ,

Cu, Cd, Hg и др., медь является наиболее распространенным металлом. Основными источниками загрязнения окружающей среды являются предприятия химической, металлургической, электроэнергетики, топливной и другие отрасли промышленности, которые вносят большой вклад в антропогенное загрязнение атмосферы медью. Кроме того медь и ее соединения поступают в атмосферу и далее аккумулируются в почвенно-растительном покрове и могут существенно различаться по формам, свойствам: по подвижности и миграционной способности, по механизмам закрепления почвенными компонентами [1, 2]. Другим значительным источником поступления меди в окружающую среду являются сточные воды, т.е. воды, использованные промышленными или коммунальными предприятиями и населением. Загрязненные медью водоемы и сточные воды подлежат глубокой очистке от катионов меди с помощью эффективных сорбционных процессов, позволяющих проводить очистку до низких концентраций загрязнителя и повторно использовать очищенную воду в замкнутых системах водооборота предприятий. В настоящее время очистка природных и сточных вод от меди является актуальной проблемой.

Проблема очистки сточных вод и водоподготовки во многом упирается в отсутствие дешевых многофункциональных сорбентов, устойчивых в процессе эксплуатации. Поиск сорбентов, обладающих высокой сорбционной емкостью, селективностью, а также низкой стоимостью, имеет большое значение, поскольку ионный обмен занял важное место среди основных методов очистки вод, разнообразных по происхождению.

В качестве сорбентов для очистки различных сред применяются природные и синтетические материалы - глины, песок, древесина, активированные угли, силикагели, ионообменные смолы и др. сорбенты.

В настоящее время одним из наиболее эффективных методов очистки водных сред от катионов металлов является сорбционный метод с использованием природных алюмосиликатов, в том числе глауконитов. Глауконит – широко распространенный в природе минерал, месторождения которого также находятся в Республике Казахстан, например имеется перспективное Уалихановское месторождение. Перспективность использования глауконита в качестве сорбента обусловлена его адсорбционными и катионообменными свойствами, что позволяет его применять для извлечения из воды и почв различных вредных веществ. Существенными достоинствами глауконита, как и некоторых других кристаллических алюмосиликатов, проявляющих молекулярно - сорбционные и ионообменные свойства, являются: широкое распространение, доступность, дешевизна, зернистая структура, термостойкость, радиационная устойчивость, возможность путем химического и структурного модифицирования направленно изменять технологические показатели минерала. Кроме того для глауконита характерна высокая полифункциональность. Например, глауконит Тамбовской области (Россия) эффективно абсорбирует фенол и анилин [3-8], тяжелые металлы [9-11]. Существенным является то, что глауконит – экологически чистый продукт, используемый в качестве пищевой добавки для животноводства (крупный рогатый скот, свиноводство, овцеводство, птицеводство). Однако свойства глауконитов различных месторождений неодинаковы и они не всегда пригодны в качестве сорбента для очистки воды и различных сред [12]. Для их эффективного использования как сорбентов необходимо проводить исследования сорбционных свойств глауконита того или иного месторождения в зависимости от различных факторов процесса. Сорбционная способность глауконита в значительной мере зависит от соотношения исходных компонентов и pH среды.

Целью настоящей работы явилось изучение сорбционной способности глауконита Уалихановского месторождения (Республика Казахстан) по отношению к катионам меди (II) в зависимости от его нормы и кислотности среды.

Для проведения сорбционных экспериментов использовали глауконит Уалихановского месторождения Западно-Казахстанской области, с содержанием, масс. %: 51,8 SiO₂; 12,3 Al₂O₃; 1,1 FeO; 17,5 Fe₂O₃; 7,9 K₂O; 0,38 MgO; 0,9 CaO; 0,16 Na₂O; 0,3 P₂O₅.

С целью исключения влияния примесей, исследование процесса сорбции катионов двухвалентной меди глауконитом проводили в модельной системе «Cu²⁺– H₂O–глауконит». Концентрацию катионов Cu²⁺ в растворе создавали путем введения в раствор расчетного количества сульфата меди CuSO₄·5H₂O. Кислотность растворов регулировали добавлением определенного количества кислоты (0,1 н) или щелочи NaOH (0,01 моль/л) в раствор соли металла.

Выбор серной кислотой H_2SO_4 обусловлен необходимостью исключения влияния аниона на сорбционную способность глауконита по отношению к меди.

Процесс сорбции ионов меди (II) глауконитом изучали методом ограниченного объема. Для этого в конические колбы помещали навески глауконита и медьсодержащего раствора с заданной концентрацией катионов Cu^{2+} . После окончания процесса сорбции проводили разделение раствора и сорбента и определяли содержание катионов меди в фильтрате. Исходную и конечную концентрацию ионов меди в растворах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре типа AA-7000, фирмы «Shimadzu Corporation», Япония, № А30664901456. Относительное среднеквадратическое отклонение (СКО) выходного сигнала $\leq 2\%$.

Процесс сорбции осуществляли в термостатируемом реакторе в условиях перемешивания при $20^\circ C$.

Сорбцию оценивали по изменению содержания катионов Cu^{2+} в растворе, т.е. по разности исходной и остаточной ее концентрации. Степень сорбции (извлечения) представляет собой отношение разности исходной и достигнутой к фиксированному моменту времени концентрации катиона Cu (II) к его исходному содержанию.

Исследование влияния pH среды на сорбционную способность глауконита по отношению к катионам меди (II) проводили при постоянном соотношении «глауконит (Т) : медьсодержащий раствор (Ж)» равном 10:100 в течение 20-90 минут. Исходная величина pH модельных растворов была равна 2, 4 и 8, а исходная концентрация ионов Cu^{2+} составляла $4,31 \cdot 10^{-3}$ мг/л. Эффективность сорбции определяется кинетикой этого процесса. В качестве основной кинетической зависимости получали кинетическую кривую, т.е. изменение степени извлечения ионов из раствора во времени.

Анализ кривых зависимости степени от pH показал, что независимо от pH среды с увеличением времени процесса до 10 минут степень очистки раствора (сорбции меди) резко увеличивается, затем несколько снижается и свыше 40 мин остается практически постоянной (рисунок). Например, степень сорбции меди из раствора с pH 8 за 5 мин процесса составляет 67,0%, за 10 мин – 74,8%, за 40 мин – 64,4% и за 90 мин – 64,2% (кривая 3).

Как видно из рисунка наименьшая степень сорбции меди (II) наблюдается в щелочной среде (pH 8). Так, за 10 мин процесса из медьсодержащего раствора с pH 8 глауконитом сорбируется 74,8% катионов Cu^{2+} (кривая 3), с pH 4 - 99,9% (кривая 1) и с pH 2 – 94,8% (кривая 2).

Известно, что в щелочной среде при достижении некоторой критической величины водородного показателя очищаемой водной среды, так называемой pH гидратообразования, протекает процесс, описываемый ниже приведенными реакциями [13]:

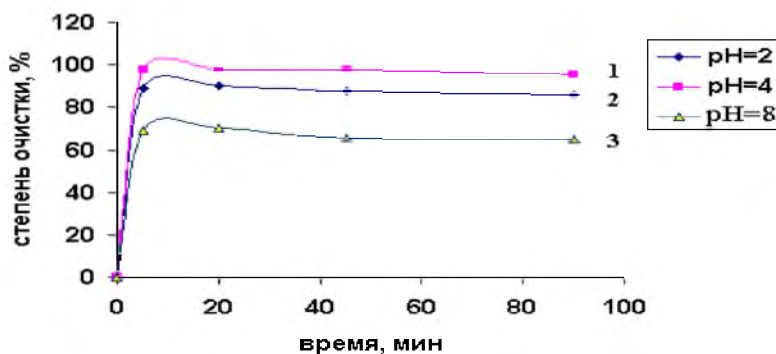


Рисунок – Зависимость степени сорбции меди (II) от pH среды

Образование в исследуемой системе гидроксида меди уменьшает степень очистки медьсодержащего водного раствора природным глауконитом. В исследуемой модельной щелочной системе « Cu^{2+} - H_2O - OH^- - глауконит», где pH равная 8 создается раствором щелочи без участия серной кислоты, отсутствует гидролизующий анион. Согласно работам [11, 15] отсутствие

гидролизующего аниона сильной кислоты, в данном случае аниона SO_4^{2-} , приводит к гидролизу катионов меди (II). Этот процесс реализуется по реакции:



Поскольку в щелочной среде степень сорбции меди значительно меньше, чем в кислых средах, то глауконит, по-видимому будет сорбировать в большей мере простые катионы меди (Cu^{2+}) и в меньшей мере гидролизованные катионы $[\text{CuOH}]^+$.

Повышение кислотности медьсодержащей водной среды, создаваемой серной кислотой, приводит к росту сорбционной способности глауконита по отношению к меди, по сравнению со щелочной средой. Например, степень сорбции ионов Cu^{2+} за 5 минут из раствора с pH 4 достигает 99,6%, с pH 2 – 88,1%, а с pH 8 – 67,0%. Увеличение сорбционной способности глауконита по отношению к катионам Cu^{2+} в кислой среде обусловлено тем, что в исследуемой системе кислотность среды повышается серной кислотой, т.е. создается модельная система « Cu^{2+} - H_2O - SO_4^{2-} - глауконит». В такой системе присутствует гидролизующийся анион сильной кислоты (SO_4^{2-}), который подавляет гидролиз катионов меди (реакция 3) [11, 15]. Поэтому в исследуемой системе будут преобладать простые катионы меди (Cu^{2+}) по сравнению со системой, в которой pH создается раствором щелочи, « Cu^{2+} - H_2O - OH^- - глауконит». По-видимому, сорбционная способность цеолита по отношению к простым катионам Cu^{2+} более высокая, чем к гидролизованным $[\text{CuOH}]^+$ катионам.

Следует отметить, что наибольшая степень сорбции катионов меди (II) имеет место при pH 4. Так, за 5 минут процесса в более кислой (pH 2) среде степень сорбции меньше на 11,5% по сравнению со степенью сорбции в слабокислой (pH 4) среде. Данная закономерность сохраняется во всем исследуемом интервале времени. Возможно, что в сильнокислой среде (pH 2) происходит образование основных и гидратированных солей меди. В последнем случае в роли дополнительных внутрисферных лигандов выступает молекула воды, а катионы меди имеют вид: $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_3\text{OH}]^+$ или $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$. Образование таких соединений будет отрицательно влиять на сорбционную способность глауконита. То есть при pH 4 в системе создаются условия предотвращения образования и гидратированных солей меди и гидроксидных осадков.

Исследование влияния массы сорбента на сорбционную способность глауконита по отношению к ионам Cu^{2+} проводили при постоянном pH 4 и 20 минутах процесса. Массу сорбента меняли от 5 до 30г на 100г медьсодержащего раствора. При этом сорбцию меди глауконитом исследовали в низкоконтрированных ($4,31 \cdot 10^{-3}$ мг/л) и более концентрированных ($20,77 \cdot 10^{-3}$ мг/л) по содержанию меди растворах.

Результаты процесса сорбции Cu^{2+} при различных соотношениях глауконита из медьсодержащего раствора представлены в таблице. Как видно из полученных данных, с увеличением соотношения Т:Ж (массы сорбента) происходит снижение остаточного содержания меди в очищаемых растворах независимо от ее концентрации в них.

Таблица 1 - Влияние нормы глауконита на степень сорбции меди. T=20°C. τ=20 мин. pH 4.

Соотношение Т:Ж	Остаточное содержание Cu^{2+} , мг/л	Степень сорбции Cu^{2+} , %
$C_{\text{Cu}^{2+}} = 4,31 \cdot 10^{-3}$ мг/л		
5:100	0,432	87,98
10:100	0,121	95,19
20:100	0,042	97,02
30:100	0,004	97,91
$C_{\text{Cu}^{2+}} = 20,77 \cdot 10^{-3}$ мг/л		
5:100	0,907	93,62
10:100	0,218	96,95
20:100	0,091	97,56
30:100	0,002	97,99

Независимо от концентрации меди увеличение массы сорбента в 2 раза (с 5г до 10г на 100г раствора) заметно увеличивает степень сорбции. Причем, в растворах с низкой концентрацией ($4,31 \cdot 10^{-3}$ мг/л) степень сорбции возрастает в 1,10 раза, а в концентрированных по меди растворах

($20,77 \cdot 10^{-3}$ мг/л) – в 1,03 раза. В модельных растворах, содержащих в 4,8 раза меньше катионов меди, степень сорбции повышается медленнее по сравнению с менее концентрированными по меди растворами. Причем, при использовании в сорбционных процессах концентрированных по меди растворов ($20,77 \cdot 10^{-3}$ мг/л) степень сорбции высокая уже при соотношении 5:100 и достигает 93,62%, в то время как при низкой ее концентрации ($4,31 \cdot 10^{-3}$ мг/л) она равна 87,98%. Столь существенное различие нельзя объяснить ошибкой эксперимента, тем более что дальнейший рост массы глауконита способствует, хотя и незначительному, повышению степени сорбции меди. Это обусловлено увеличением удельной поверхности сорбента.

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что глауконит проявляет высокие сорбционные свойства к катионам меди (II) и извлекает в определенных условиях 99,9% Cu^{2+} . Установлено, что наибольшую сорбционную способность по отношению к ионам меди глауконит проявляет при pH 4. Повышение кислотности (pH < 4) или щелочности (pH > 4) водной среды уменьшает степень сорбции ионов Cu^{2+} в первом случае за счет подавления реакции гидролиза катионов меди до образования гидролизованых ионов $[\text{CuOH}]^+$, а во-втором - вследствие инициирования данного процесса. Выявлено, что увеличение массы сорбента в 2 раза (с 5г до 10-20г на 100г раствора) для всех исследуемых концентраций меди существенно увеличивает степень сорбции. В модельных растворах, содержащих в 4,8 раза меньшую концентрацию катионов меди, степень сорбции повышается медленнее по сравнению с менее концентрированными по меди растворами. Сорбцию катионов Cu^{2+} из водных сред необходимо проводить при pH 4 в течение 10-15 минут при 20°C и соотношении Т: равном 20:100.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Репнищна О. Н., Попова Л. Ф. Трансформация подвижных форм меди в сезоннопромерзающих почвах города Архангельска// Арктика и Север. 2012. № 9. - С. 1- 15.
- [2] ГОСТ Р 50686–94 «Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО». Из-во Стандартов, М.: 1994, 13с.
- [3] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И., Румянцев Ф.А. Адсорбционная способность глауконита Бондарского района Тамбовской области //Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 1. С. 121-126.
- [4] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Акулов А.И. Извлечение фенола из водных растворов глауконитом //Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 4. С. 500-505.
- [5] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И. Извлечение ионов меди и фенола в проточном растворе глауконитом Бондарского района Тамбовской области//Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 6. С. 930-937.
- [6] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Акулов А.И. Влияние pH на извлечение фенола в проточном растворе глауконитом ГБРТО и его фракциями //Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. № 2. С. 256-263.
- [7] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Акулов А.И. Сорбция фенола глауконитом ГБРТО из его разбавленных растворов //Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. № 5. С. 673- 673.
- [8] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Акулов А.И. Регенерация глауконита, сорбирувавшего фенол из модельных растворов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. № 3. С. 465-470.
- [9] Вигдорович В.И., Богданова Е.Л., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В. Влияние pH на сорбцию глауконитом ГБРТО ионов железа (II), меди (II) и свинца (II) из разбавленных растворов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. № 6. С. 913-921.
- [10] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Протасов А.С. Сорбционная очистка растворов от катионов Рb (II) концентратом глауконита ГБМТО // Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. № 3. С. 393-400.
- [11] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Протасов А.С. Сорбционная очистка проточных растворов от меди (II) концентратом глауконита ГБМТО // Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. № 4. С. 442-448.
- [12] Николаева И. В. Минералы группы глауконита и эволюция их химического состава /Сб. научн. тр. «Проблемы общей и региональной геологии» -Новосибирск: ИБЦ ИНГТ СО РАН. -1971. – 366с.
- [13] Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Субочева Е.С., Протасов А.С. Влияние pH, концентрации индифферентного электролита и природы катиона Си (II) на их сорбцию концентратом глауконита ГБМТО//Вестник ТГУ. 2013. – Т.18. – вып. 1. – С. 397-400.

REFERENCES

- [1] Repnitsyna O.N., Popova L.F. Transformation of mobile forms of copper in soils of Arkhangelsk SEASONALLY. Arctic and North. 2012. N 9. P. 1- 15.

- [2] GOST 50686-94 "Soils. Determination of mobile compounds of copper by the method Krupsk and Alexandrova in CINAO modification. " Because of Standards, M.: 1994. 13p.
- [3] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Nikolenko D.V., Akulov A.I. Rummyantsev F.A. The adsorption capacity of glauconite Bondarsky district Tambov region. Sorption and chromatographic processes. 2010, Vol. 10, № 1. P.121-126.
- [4] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Akulov A.I. Removing phenol from aqueous solutions glauconite. Sorption and chromatographic processes. 2010, Vol. 10, № 4. P. 500-505.
- [5] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Nikolenko D.V., Akulov A.I. Extracting copper ions and phenol in a flowing solution glauconite Bondarsky district Tambov region. Sorption and chromatographic processes. 2010. Vol. 10, № 6. P. 930-937.
- [6] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Akulov A.I. Effect of pH on the extraction of phenol in a flowing solution glauconite GBRTO and its fractions. Sorption and chromatographic processes. 2011. Vol. 11, № 2. P. 256-263.
- [7] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Akulov A.I. Sorption of Phenol glauconite GBRTO of its dilute solutions. Sorption and chromatographic processes. 2011. Vol. 11, № 5. P. 673- 673.
- [8] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Akulov A.I. Regeneration glauconite adsorbed phenol from model solutions. Sorption and chromatographic processes. 2012. Vol. 12, № 3. P. 465-470.
- [9] Vigdorovich V.I., Bogdanova E.L., Tsygankov L.E., Nikolenko D.V. Effect of pH on the sorption glauconite GBRTO iron ions (II), copper (II) and Pb (II) from dilute solutions. Sorption and chromatographic processes. 2011. Vol. 11, № 6. P. 913-921.
- [10] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.E., Nikolenko D.V., Protasov A.S. Sorption cleaning solutions from the cations Pb (II) of glauconite concentrate GBMTO. Sorption and Chromatographic processes. 2013. Vol. 13, № 3. P. 393-400.
- [11] Vigdorovich VI Tsygankov LE, Nikolenko DV, AS Protasov Sorption cleaning solutions flow from the copper (II) of glauconite concentrate GBMTO // Sorption and chromatographic processes. 2013. Vol. 13, № 4. P. 442-448.
- [12] Nikolaeva IV glauconite group minerals and evolution of their chemical composition / Coll. Scien. tr. "Problems of general and regional geology" -Novosibirsk: ILC IPGG SB RAS., 1971. 366 p.
- [13] Vigdorovich V.I., Tsygankov L.Y., Nikolenko D.V., Subocheva E.S., Protasov A.S. Effect of pH, concentration of supporting electrolyte and the nature of the cation Cu (II) on their sorption glauconite concentrate GBMTO. Vestnik TSU. 2013. 18. Vol. 1. P. 397-400.

СУЛЫ ЕРІТІНДІДЕГІ МЫС (II) СОРБЦИЯСЫНА ОРТАНЫҢ РН МЕН ГЛАУКОНИТТІҢ НОРМАЛАРЫ ӘСЕРІ

Ө.Ж. Жүсіпбеков, Р.М. Чернякова, Р.Ә. Қайыңбаева, Н.Н. Қожабекова,
Г.Ш. Сұлтанбаева, К.Е. Ермакова, Е.А. Түсіпқалиев

Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты АҚ, Алматы, Қазақстан

Түйін сөздер: мыс (II) катиондары, табиғи глауконит, сорбция, ортаның рН, глаукониттің массасы, сорбциялау дәрежесі

Аннотация. Жұмыста глауконитпен мыс (II) иондары сорбциясы үрдісі зерттелген. Зерттеу нәтижелері мыстың неғұрлым жоғары сорбциясы үрдістің бастапқы 10 минутында рН-тың барлық зерттеу аймақтарында байқалатыны анықталды. Мыс құрамды ерітіндінің рН 4 болғанда, тазартудың жоғары дәрежесі ($K_c = 99,9\%$) орын алады. Сондықтан да сулы ортадағы Cu^{2+} катиондары сорбциясын 10-15 минут ішінде және оның рН 4 кезінде, $20^\circ C$ аралығында, Қ: С қатынасы 20:100 арақатынасында жүргізген тиімді.

Поступила 23.05.2016 г.