

А.С. Есенбек^{1*}, М.И. Сатаев^{1,2}, А.М. Азимов¹, В.В. Самонин³

¹Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Казахстан, г. Шымкент

²Товарищество с ограниченной ответственностью «InnovTechProduct», Казахстан, г. Шымкент

³Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Россия, г. Санкт-Петербург

*e-mail: asil83@list.ru

АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПИТЬЕВЫХ ВОД АКТИВИРОВАННЫМИ УГЛЯМИ «GOLD CARBON», ПОЛУЧЕННЫМИ ИЗ СКОРЛУПЫ СЛИВОВЫХ КОСТОЧЕК

В работе исследовался процесс адсорбции сульфатов и остаточного хлора, являющиеся основными источниками загрязнения питьевой воды. В качестве адсорбента применена скорлупа сливовых косточек, активированная парогазовой смесью. Скорлупа сливовых косточек предварительно карбонизируется при температуре от 20 до 800 °С и активируется в потоке CO₂ и H₂O в массовом соотношении 90:10 при температуре 750-850 °С. Исследованы адсорбционные характеристики по сульфатам и остаточному хлору. Определена зависимость концентрации сульфатов в очищенной воде от равновесной концентрации. Наиболее быстро адсорбция сульфатов протекает на адсорбенте при концентрации 500 мг/л. Найдены характеристики кинетики адсорбции активированного угля по остаточному хлору. Определена зависимость поглощающей способности хлора активированными углями от равновесной концентрации в воде. При достижении 90 минут наблюдаем величины адсорбции порядка 99%. Определено влияние скорости водного потока на поглощаемость остаточного хлора активированным углём, где оптимальным фактором режима является: скорость водного потока – 0,0022 м/с. Определено влияние скорости водного потока на показатель мутности в исходной и очищенной воде, где максимальная степень очистки для активированной скорлупы сливовых косточек наступает при скорости водного потока 0,0022 м/с. Анализ полученных данных свидетельствует об удовлетворительной адсорбционной способности изучаемых активированных углей из скорлупы сливовых косточек и высокую степень очистки воды.

Ключевые слова: адсорбция, активированный уголь, сульфат, остаточный хлор, очистка воды, питьевая вода, водоснабжение.

A.S. Yessenbek^{1*}, M.I. Satayev^{1,2}, A.M. Azimov¹, V.V. Samonin³

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Kazakhstan, Shymkent

²Limited Liability Partnership «InnovTechProduct», Kazakhstan, Shymkent

³Saint Petersburg State Technological Institute (Technical University), Russia, Saint Petersburg

*e-mail: asil83@list.ru

Adsorption purification of drinking water with activated carbons «gold carbon» produced from plum pit shells

The process of adsorption of sulfates and residual chlorine, which are the main sources of drinking water pollution, was investigated in the work. The shell of plum seeds activated by a vapor-gas mixture was used as an adsorbent. The shell of plum seeds is pre-carbonized at a temperature of 20 to 800 °C and activated in a stream of CO₂ and H₂O in a mass ratio of 90:10 at a temperature of 750-850 °C. The adsorption characteristics of sulfates and residual chlorine were investigated. The fastest adsorption of sulfates occurred on the adsorbent at a concentration of 500 mg/l. The characteristics of the kinetics of activated carbon adsorption by residual chlorine are found. The dependence of the absorption capacity of chlorine by activated carbons on the equilibrium concentration in water is determined. Upon reaching 90 minutes, we observe adsorption values of the order of 99%. The influence of the water flow speed on the absorption of residual chlorine by activated carbon was determined, where the optimal factor of the regime, the water flow speed, was 0.0022 m/s. The influence of the water flow speed on the turbidity index in the source and purified water was determined, where the maximum degree of purification for the activated shell of plum pits occurred at the water flow speed of 0.0022 m/s. The analysis of the data obtained indicates a satisfactory adsorption capacity of the studied activated carbons from the shell of plum pits and a high degree of water purification.

Key words: adsorption, activated carbon, sulfate, residual chlorine, water purification, drinking water, water supply.

А.С. Есенбек^{1*}, М.И. Сатаев^{1,2}, А.М. Азимов¹, В.В. Самонин³

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан, Шымкент қ.

²«InnovTechProduct» жауапкершілігі шектеулі серіктестігі, Қазақстан, Шымкент қ.

³Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты (техникалық университет),
Ресей, Санкт-Петербург қ.

*e-mail: asil83@list.ru

Қара өрік дәнінің қабығынан алынған «gold carbon» белсендірілген көмірмен ауыз суды адсорбциялық тазарту

Жұмыста ауыз суды ластаудың негізгі көзі болып табылатын сульфаттар мен қалдық хлордың адсорбция процесі зерттелді. Адсорбент ретінде бу-газ қоспасымен белсендірілген қара өрік тұқымының қабығы қолданылады. Қара өрік тұқымының қабығы 20-дан 800°C-қа дейін алдын-ала карбонизацияланады және 750-850°C температурада 90:10 массалық қатынасында CO₂ және H₂O ағынында белсендіріледі. Тазартылған судағы сульфаттар концентрациясының тепе-теңдік концентрациясына тәуелділігі анықталды. Сульфаттардың ең жылдам адсорбциясы адсорбентте 500 мг/л концентрациясында жүреді. қалдық хлор арқылы белсендірілген көмірдің адсорбция кинетикасының сипаттамалары табылды. Белсендірілген көмірмен хлордың сіңіру қабілетінің судағы тепе-теңдік концентрациясына тәуелділігі анықталды. 90 минутқа жеткенде адсорбция шамасын шамамен 99% байқаймыз. Су ағынының жылдамдығының активтендірілген көмірмен қалдық хлордың сіңуіне әсері анықталды, мұнда режимнің оңтайлы факторы: су ағынының жылдамдығы – 0,0022 м/с. Су ағынының жылдамдығының бастапқы және тазартылған судағы ластану көрсеткішіне әсері анықталды, мұнда қара өрік тұқымының активтендірілген қабығы үшін максималды тазарту деңгейі су ағынының жылдамдығы 0,0022 м/с болады. алынған деректерді талдау зерттелген белсендірілген көмірдің қара өрік қабығынан қанағаттанарлық адсорбциялық қабілеттілігін және суды тазартудың жоғары дәрежесін көрсетеді.

Түйін сөздер: адсорбция, белсендірілген көмір, сульфат, қалдық хлор, суды тазарту, ауыз су, сумен жабдықтау.

Введение

Очистка питьевой воды – наиболее актуальная проблема, стоящая перед экологами и специалистами по водоподготовке. Превышение сульфатов и остаточного хлора, содержащихся в питьевой воде, может негативно отразиться на здоровье населения. Существующие технологии очистки фильтрации природных вод не обеспечивают высокой степени очистки от загрязнений. Для достижения качества питьевой воды требованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) необходимо исследование и внедрение адсорбентов с высокими поглощающими свойствами. В настоящее время природные воды содержат большое количество загрязняющих веществ антропогенного характера [1-4].

Наиболее распространенными и эффективными способами снижения концентрации загрязняющих веществ в водах являются адсорбционные методы очистки. Поэтому создается необходимость получения новых адсорбентов, которые имеют более низкую стоимость по сравнению с существующими на рынке, а также являются эффективными и экологически безопасными. Широко исследуются адсорбционные

способы очистки водоемов и сточных вод предприятий от накопившихся токсичных веществ [2-7]. Композиционные материалы на основе цеолитов и различных поверхностно-активных веществ дают эффективность для очистки вод от органических примесей, а также других соединений органической природы. Было исследовано удаление восьми хлорфенолов с использованием адсорбции на активированном угле и адсорбции в присутствии перекиси водорода [5]. Было изучено влияние pH, дозы активированного угля и концентрации перекиси водорода. Также было изучено влияние положения атома хлора и содержания хлора в молекулах хлорфенола на их деградацию. Результаты показали, что интеграция активированного угля и H₂O₂ обработка была более эффективной для удаления хлорфенолов, чем использование только активированного угля. Кинетика адсорбции и эффективность адсорбции увеличивались с увеличением замены хлора на ароматическое кольцо. Изучена адсорбция сульфата в водных растворах на адсорбентах, полученных из природного цеолита и катионного поверхностно-активного вещества цетилтриметиламмония бромид [6]. Такие параметры, как дозировка адсорбента, время контакта и температура,

были исследованы с помощью периодических исследований адсорбции. Результаты показывают, что поглощение сульфата увеличивается с увеличением времени контакта и температуры и уменьшается с увеличением дозы. Установлено, что максимальная адсорбционная способность составляет 38,02 мг/г при 40°C. В работе исследована адсорбция сульфата на каолините при концентрациях раствора от 0,7 мкэкв/мл до 99 мкэкв/мл при 30°C и рН 6,0 [7]. Адсорбция сульфата происходила преимущественно на положительных участках при низких (от 0,7 мкэкв/мл до 0,9 мкэкв /мл) концентрациях раствора, тогда как при более высоких концентрациях раствора доля сульфата, адсорбированного на нейтральных участках, увеличилась, варьируясь от 51% при 4,9 мкэкв/мл до 68% при 99 мкэкв/мл. Проведены исследования адсорбции хлора на кремнии [8]. Наблюдения интерпретируются в терминах необратимого термического превращения видов хлоридов с наклонной поверхностью в нормально ориентированные виды, связанные в асимметричных димерных участках. В статье [9] исследован процесс адсорбционного извлечения хлора на арсенид индия. При адсорбции хлора исследованы характеристики структурных параметров, расположения и длины связей поверхностных атомов. Вычислены электронные характеристики поверхности в присутствии адсорбированного хлора.

При очистке вод от соединений сульфатов и остаточного хлора, как адсорбент хорошо себя зарекомендовал активированный уголь. Поэтому для очистки вод необходимо провести всесторонние исследования адсорбентов с целью их использования на станциях водоочистки. Активированный уголь – универсальный материал с большой площадью поверхности, большой внутренней поверхностью, объемом пор, высокой химической устойчивостью и необходимыми функциональными группами. Хорошие адсорбционные способности и характеристики позволяют широко использовать активированные угля во многих процессах, включая медицинское использование, хранение газа, удаление загрязняющих веществ и запахов, разделение газа и катализ [10-14].

Для снижения себестоимости производства использование возобновляемых и менее дорогостоящих прекурсоров для производства активированного угля привлекает интерес исследователей всего мира [15]. Поэтому многие исследования активированных углей были проведены из отходов сельского хозяйства, включая скорлупу желудя [16], семена финиковой пальмы [17], скорлупу кокоса [18, 19], скорлупу грецкого ореха [20], оливковых косточек [21], багассы сахарного тростника [22], кукурузного початка [23], кукурузной шелухи [24] и др. В зависимости от сырья были получены различные типы и сорта угля с различными свойствами и пористостью.

Исследования по получению активированного угля [25, 26] из скорлупы кокосового ореха, скорлупы миндаля, скорлупы лесного ореха, скорлупы грецкого ореха и абрикосовой косточки показали, что химическая активация эффективна при использовании КОН и $ZnCl_2$, при котором был установлен следующий порядок пригодности материалов при получении активированного угля: скорлупы кокосового ореха > скорлупа лесного ореха > скорлупа грецкого ореха > абрикосовая косточка > скорлупа миндаля.

Целью представленной работы является исследование эффективности адсорбционной очистки питьевых вод систем водоснабжения скорлупой сливовых косточек, активированных парогазовой смесью.

Материалы и Методы

В качестве адсорбента была использована скорлупа сливовых косточек, активированная парогазовой смесью [27]. Процесс производства активированных углей из скорлупы сливовых косточек включает активацию скорлупы косточек предварительной карбонизацией при температуре от 20 до 800°C со скоростью подъема 20°C/мин в течение 1-2 часов, дальнейшую активацию осуществляют в потоке CO_2 и H_2O в массовом соотношении 90:10 при температуре 750-850°C в течение 2 часов. В таблице 1 представлены характеристики активированного угля из скорлупы сливовых косточек.

Таблица 1 – Характеристика активированного угля из скорлупы сливовых косточек

№	Параметры	Единица измерения	Показатели
1	Размер гранул > 3,0 мм	%	0,5
2	Размер гранул 1,5 – 3,0 мм	%	97,5
3	размер гранул < 1,5 мм	%	2,0
4	Содержание влаги	%	10
5	Содержание золы	%	9
6	Суммарный объем пор по воде	см ³ /г	1,6
7	Адсорбционная активность по йоду	%	63

С целью исследования адсорбционных свойств использовалась экспериментальная установка, собранная на кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Южно-Казахстанского университета им.М.Ауезова, которая представлена на рисунке 1. Исходная вода из емкости для воды подается

с помощью насоса 2 в фильтр грубой очистки 1. Далее вода поступает в адсорбер 4 с помощью насоса 3. Затем очищенная вода поступает в емкость для очищенной воды. В адсорбере 4 применен активированный уголь «GOLD CARBON» [28], полученный из скорлупы сливовых косточек.

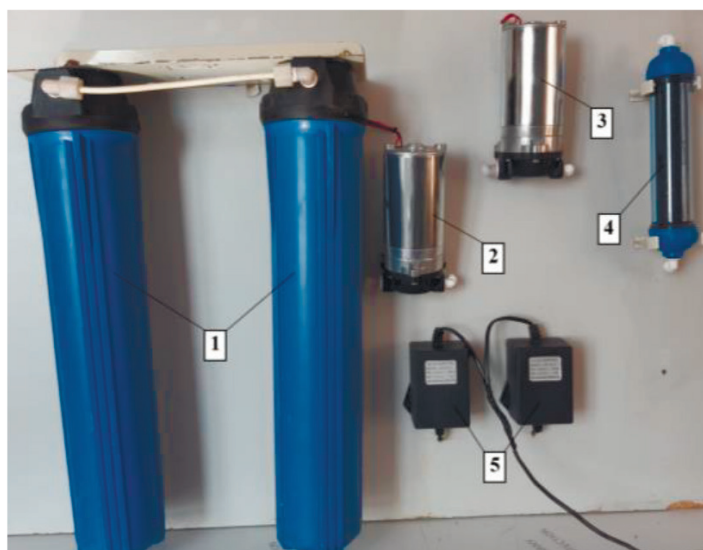


Рисунок 1 – Экспериментальная установка адсорбционной очистки
1 – фильтр грубой очистки; 2 – насос для фильтра грубой очистки; 3 – насос для адсорбера;
4 – адсорбер; 5 – блок питания электроэнергией для насосов.

Для изучения структурно-сорбционных и физико-химических характеристик использовались классические и современные физико-химические методы исследования [29, 30], по которым можно оценить характеристики и свойства исследуемых объектов, а также необходимых адсорбционных характеристиках адсорбента. У активированного угля определялись: содержание влаги, % (ГОСТ) 12597-67

[31]; суммарный объем пор, объем микропор, переходных и макропор пор активированного угля определяли по объему адсорбированного стандартного пара (бензола), а также величину удельной поверхности по ГОСТ 17219-71 [32].

В Казахстане действует стандарт на питьевую воду – ГОСТ 2874-73 [33]. В ГОСТ указаны все требования и нормы, предъявляемые к питьевой воде. Питьевая вода должна обладать

хорошими показателями по запаху, вкусу, температуре, прозрачности и цвету. Применялось высокоэффективная жидкостная хроматография (VarianProStar) для определения количественного и качественного состава воды.

В качестве объекта исследования были выбраны сульфаты и остаточный хлор, являющиеся основными источниками загрязнения питьевой воды [2-4]. Хлориды и сульфаты, являющиеся солями соляной и серной кислот, часто обнаруживаются в питьевой воде. Превышение концентрации сульфатов приводит к заболеваниям желудочных органов [34, 35]. Норма для них – 500 миллиграммов на литр [33].

Через воду могут передаваться многие инфекционные заболевания: дизентерия, брюшной тиф, паратифы, холера. Присутствие кишечных палочек в воде свидетельствует о загрязнении ее выделениями людей или животных. Если при обеззараживании воды количество кишечных палочек в одном литре не превышает трех, то можно быть уверенным, что вода полностью стерильна, в ней нет болезнетворных микробов. При содержании в питьевой воде вредных веществ и бактерий применяют однократное хлорирование. При этом в воду вводят хлор или хлорсодержащие вещества с концентрацией в

пределах от 0,0005 до 0,002 кг/м³. При превышении в питьевой воде концентрации токсичных веществ и бактерий нормативов ГОСТа 2874-82 [33] применяют двухкратное хлорирование. Затем воду необходимо дехлорировать, путём поглощения хлора активированным углем. При применении процесса дехлорирования отпадает необходимость добавления различных дополнительных химических реагентов. Сульфатные соединения растворяясь в воде могут проникать в питьевую воду через почву. Сульфаты магния, которые составляют основу реагентов, используемых для обработки дорог в зимнее время, при таянии снега попадают в грунт, а далее стекаются в водоёмы, а также сульфаты попадают в воду с производственными и бытовыми стоками. Основными загрязнителями являются заводы, производящие минеральные удобрения, горнодобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность.

Концентрация и поглощаемость сульфатов и остаточного хлора определялись в соответствии с ГОСТ 4389-72 Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов, ГОСТ 18190-72 Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора.

В таблице 2 представлены показатели качества питьевой воды по требованиям ВОЗ и

Таблица 2 – Качество питьевой воды по требованиям ВОЗ и ГОСТа 2874-82

№	Показатели	Ед. изм.	ГОСТ 2874-82	Всемирная организация здравоохранения
1	Хлор остаточный	мг/дм ³	0,3-0,5	0,6-0,7
2	Сульфаты, не более	мг/дм ³	500	250
3	Мутность, не более	мг/дм ³	1,5-(2,0)	5 ЕМФ

Результаты исследования и их обсуждение

Активированные угли превосходят обычные адсорбенты по всем основным параметрам: сорбционной емкости, силе связывания сорбированных молекул, скорости сорбции. Практическое использование таких уникальных адсорбционных характеристик связано с рядом существенных преимуществ, которые она имеет перед другими адсорбентами: уменьшение веро-

ятности образования канальных эффектов при протекании жидкости; падение гидродинамического сопротивления потоку; способность к быстрому поглощению загрязняющих веществ из воды, способность эффективно удалять следовые концентрации токсичных веществ.

Нами была изучена зависимость концентрации сульфатов в очищенной воде от равновесной концентрации, результаты которой представлены на рисунке 2.

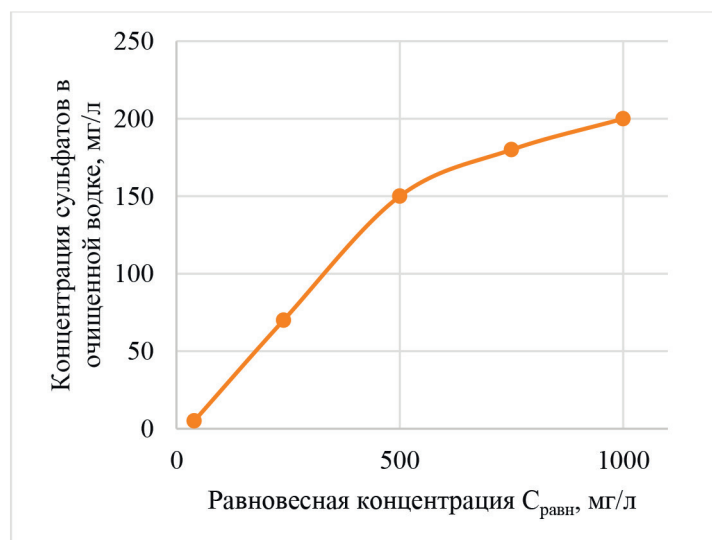


Рисунок 2 – Зависимость концентрации сульфатов в очищенной воде от равновесной концентрации

Из рисунка видно, что при увеличении концентрации сульфатов в исходной воде до 1000 мг/л активированная скорлупа сливовых косточек позволяет снизить концентрацию сульфатов после очистки в воде до 200 мг/л, что соответствует требованиям ГОСТ и ВОЗ.

Адсорбционная способность по сульфатам полученного нами активированного угля из скорлупы сливовых косточек обеспечивается необходимым объемом микро- и мезопор и развитой удельной поверхностью представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика активированного угля

Содержание влаги, %	Суммарная пористость, см ³ /г	Объем мезопор, см ³ /г	Объем микропор, см ³ /г	Объем макропор, см ³ /г	Осветляющая способность по метиленовому голубому, %	Зольность, %
Предлагаемый уголь						
1	1,00	0,15	0,75	0,10	200	<6

Адсорбционная способность по остаточному хлору и степень поглощения от исходного содержания в процентах приведены в таблице 4. Из таблицы видно, что степень выведений хлора достаточно высока для применения этого активированного угля и адсорбционного аппарата.

Зависимость поглощаемости остаточного хлора активированным углём от времени очистки и скорости воды показаны на рисунках 3 и 4. Видно, что оптимальными факторами режима являются: время очистки – 80 минут; скорость водного потока – 0,0021 м/с.

Таблица 4 – Адсорбционная способность по остаточному хлору и степень поглощения от исходного содержания в процентах

Адсорбент	Концентрация остаточного хлора		Степень выведения ост. хлора от исходного а, %
	В исходной воде, мг/л	В очищенной воде, мг/л	
Активированный уголь	0,7	0,01	99,0

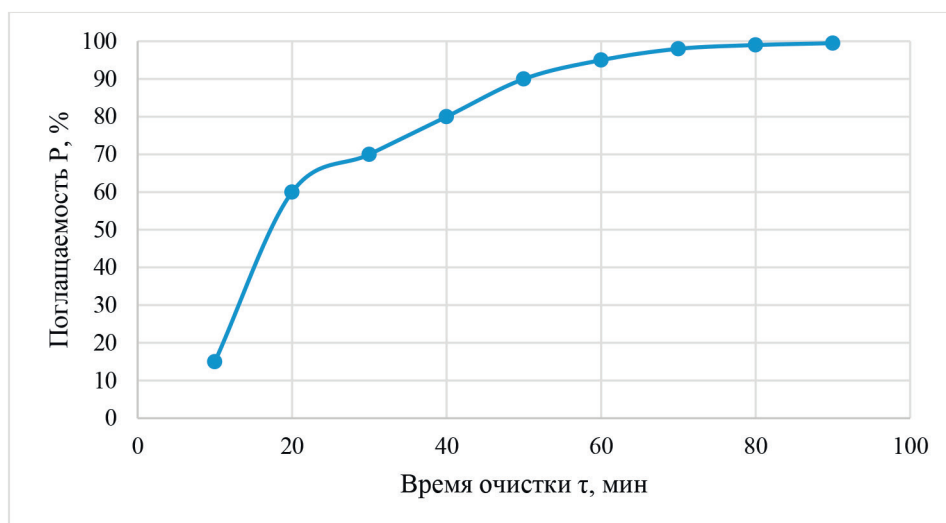


Рисунок 3 – Влияние времени очистки на поглощаемость остаточного хлора

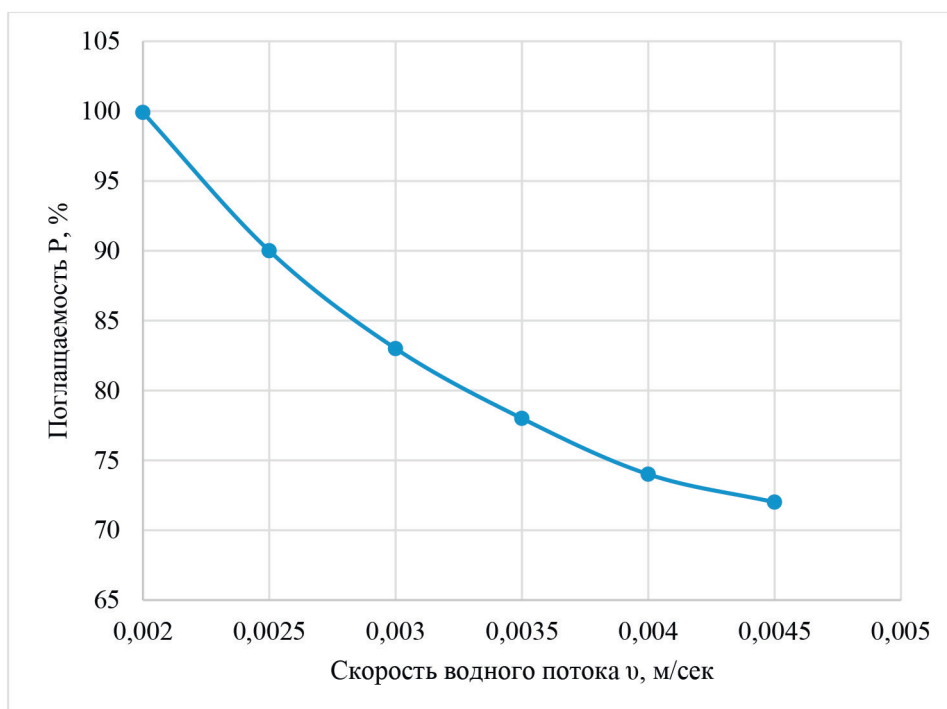


Рисунок 4 – Влияние скорости водного потока на поглощаемость остаточного хлора

Эффективность степени очистки при применении активированного угля в процессе извлечения остаточного хлора из воды достигает 99%. Данный способ поглощения остаточного хлора активированной скорлупой сливовых косточек возможен для использования в процессах очистки природных вод для удаления остаточ-

ного хлора, а также образовавшихся хлорных соединений. Для исследования очистки воды от остаточного хлора, содержащейся в поверхностных водах, проведены исследования по адсорбционному извлечению остаточного хлора, где на рисунке 5 наблюдаем высокую величину адсорбции 0,35 мг/г которая достигается за 2 часа.

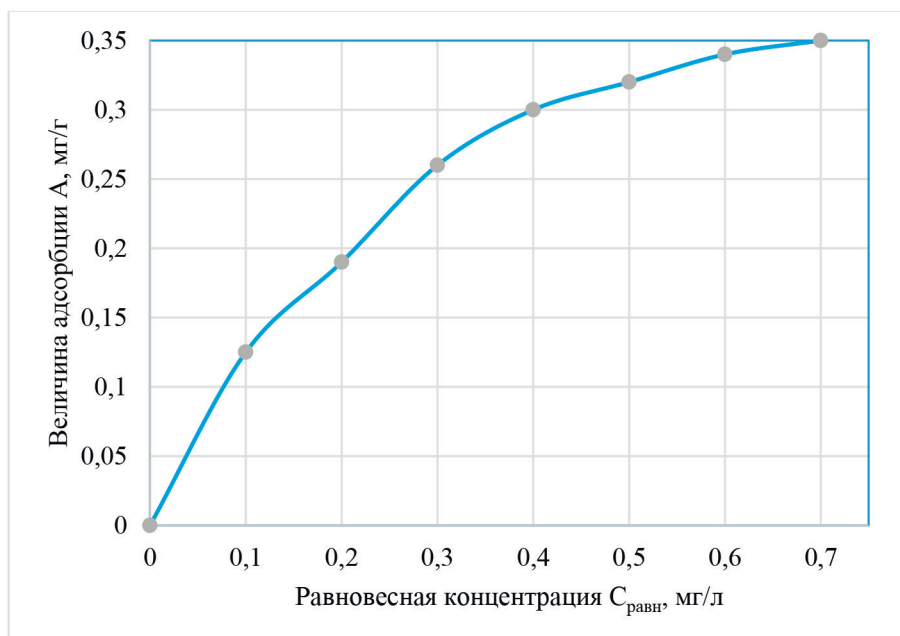


Рисунок 5 – Зависимость величины адсорбции хлора от равновесной концентрации

Выводы

Проведен анализ и определены показатели качества исходной питьевой воды. Определены закономерности процесса адсорбции сульфатов и остаточного хлора активированным углем на основе сливовых косточек. Установлена зависимость концентрации сульфатов в очищенной воде от равновесной концентрации. Наиболее быстро адсорбция сульфатов протекает на адсорбенте при концентрации 500 мг/л. Получены кинетические характеристики адсорбции остаточ-

ного хлора активированным углём. За 80 минут достигается максимальная адсорбция остаточного хлора, где наблюдаем величины поглощаемости порядка 99% от максимально достижимых. Определено влияние скорости водного потока на поглощаемость остаточного хлора активированным углём, где оптимальным фактором режима является: скорость водного потока – 0,0021 м/с. Анализ полученных данных свидетельствует об высокой величине адсорбции остаточного хлора равной 0,35 мг/г, изучаемых активированных углей из скорлупы сливовых косточек.

Литература

- 1 Ussipbekova, Ye.Zh et al. Исследование адсорбции ионов меди и цинка сорбентами на основе растительных отходов – жмыха и лужки семян подсолнуха // Вестник КазНУ. Серия экологическая, [S.I.]. – 2021. – Vol. 67. – №2. – P. 22-30. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v67.i2.02>.
- 2 Xin, B., Yu, J., Dang, W. et al. Dynamic characteristics of chlorine dispersion process and quantitative risk assessment of pollution hazard // Environ Sci Pollut. – 2021. – Res 28. – 46161–46175. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11864-z>
- 3 Richardson, S.D., Thruston, A.D., Caughran, T.V. et al. Identification of New Drinking Water Disinfection by – Products from Ozone, Chlorine Dioxide, Chloramine, and Chlorine // Water, Air, & Soil Pollution – 2000. – Vol. 123. – P. 95–102. <https://doi.org/10.1023/A:1005265509813>
- 4 Niu, ZG., Hu, XP., Zhang, Y. et al. Effect of chlorine dosage in prechlorination on trihalomethanes and haloacetic acids during water treatment process // Environ Sci Pollut – 2017. – Res 24. – 5068–5077. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8265-x>
- 5 Kuśmierk K. The removal of chlorophenols from aqueous solutions using activated carbon adsorption integrated with H₂O₂ oxidation // Reac Kinet Mech Cat. – 2016. – Vol. 119. – P. 19–34. <https://doi.org/10.1007/s11444-016-1039-0>.
- 6 Chen, W., Liu, Hc. Adsorption of sulfate in aqueous solutions by organo-nano-clay: Adsorption equilibrium and kinetic studies // J. Cent. South Univ. – 1974–1981 (2014). – Vol 21. <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2145-7>.
- 7 Dolenko, S.O., Trifonova, M.Y. & Ivanova, Z.G. Influence of Natural Water Components on the Sorption of Dodecyl Sulfate Anions on Kaolinite // J. Water Chem. Technol. – 2022. – Vol. 44, – P. 1–9. <https://doi.org/10.3103/S1063455X22010027>

8 Bennett S.L., Greenwood C.L., Williams E.M. (1993) ESDIAD Studies of Chlorine Adsorption at Silicon (100). In: Burns A.R., Stechel E.B., Jennison D.R. (eds) Desorption Induced by Electronic Transitions DIET V. Springer Series in Surface Sciences, vol 31. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78080-6_41.

9 Bakulin, A.V., Eremeev, S.V., Tereshchenko, O.E. et al. Chlorine adsorption on the InAs (001) surface // Semiconductors. – 2011. – Vol. 45. – P. 21–29. <https://doi.org/10.1134/S1063782611010040>.

10 Skander Jribi, Anutosh Chakraborty, Ibrahim I. El-Sharkawy, Bidyut Baran Saha, Shigeru Koyama. Thermodynamic Analysis of Activated Carbon- CO₂ based Adsorption Cooling Cycles // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. – 2008. – Vol. 2, – №7, – P. 854-857. doi.org/10.5281/zenodo.1328392.

11 Kumrić, K., Vujasin, R., Egerić, M. et al. Coconut Shell Activated Carbon as Solid-Phase Extraction Adsorbent for Preconcentration of Selected Pesticides from Water Samples // Water Air Soil Pollut. – 2019. 230:302. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4359-7>

12 Paredes-Laverde M., Salamanca M., Silva-Agredo J., Manrique-Losada L., Torres-Palma R. A. Selective removal of acetaminophen in urine with activated carbons from rice (*Oryza sativa*) and coffee (*Coffea arabica*) husk: Effect of activating agent, activation temperature and analysis of physical-chemical interactions // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2019. – Vol. 7. – №5. – 103318. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103318>.

13 Berdenova B., Kaltayev A. Review of adsorption and thermal characteristics of activated carbon and its application in ang storage and acs systems // Bullerin Of National Academy Of Sciences Of The Republic Of Kazakhstan. – 2017. – Vol. 3. – №367. P. 27 – 36.

14 Kuśmierk, K., Świątkowski, A., Skrzypczyńska, K. et al. The effects of the thermal treatment of activated carbon on the phenols adsorption // Korean J. Chem. Eng. – 2017. – Vol. 34. – P. 1081–1090. <https://doi.org/10.1007/s11814-017-0015-3>

15 Бояновский Д., Холман Р., Ли D.Sh., Сильва Дж.П., Сингх А. (1994) Записка о термической активации // Ядерная фи-зика Б. – 1995. – Т. 441. – № 3. – С. 595-608 [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(95\)00047-v](https://doi.org/10.1016/0550-3213(95)00047-v).

16 Faisal, M.S.S., Abedin, F. & Asmatulu, R. Activated carbons of pistachio and acorn shells for supercapacitor electrodes with TEABF₄/PC solutions as electrolytes // Carbon Lett. – 2020. – Vol. 30. – P. 509–520 <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00120-6>

17 Al-Zahrani, K.S., Faqeh, A.A., Abdulghani, Z.R. et al. A review on the physicochemical properties and utilization of date seeds in value-added engineering products // Polym. Bull. – 2022. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04048-3>

18 Tsai, WT., Jiang, TJ. Mesoporous activated carbon produced from coconut shell using a single-step physical activation process // Biomass Conv. Bioref. – 2018. – Vol. 8. – P. 711–718. <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0322-x>

19 Singh, P., Dubey, P., Younis, K. et al. A review on the valorization of coconut shell waste // Biomass Conv. Bioref. – 2022. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03001-2>

20 Asadi-Sangachini, Z., Galangash, M.M., Younesi, H. et al. The feasibility of cost-effective manufacturing activated carbon derived from walnut shells for large-scale CO₂ capture // Environ Sci Pollut Res. – 2019. – Vol. 26. – P. 26542–26552. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05842-3>

21 Saleem, J., Shahid, U., Hijab, M. et al. Production and applications of activated carbons as adsorbents from olive stones // Biomass Conv. Bioref. – 2019. – Vol. 9. – P. 775–802. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00473-7>

22 da Costa, W.K.O.C., Gavazza, S., Duarte, M.M.M.B. et al. Preparation of Activated Carbon from Sugarcane Bagasse and Removal of Color and Organic Matter from Real Textile Wastewater // Water Air Soil Pollut. – 2021. 232:358. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05306-w>

23 Feng Z.Y., Meng L.Y. Hierarchical porous carbons derived from corncob: study on adsorption mechanism for gas and wastewater // Carbon Lett. – 2021. – Vol. 31. – P. 643 – 653. <https://doi.org/10.1007/s42823-021-00231-8>

24 Ammar, N.S., Fathy, N.A., Ibrahim, H.S. et al. Micro-mesoporous modified activated carbon from corn husks for removal of hexavalent chromium ions // Appl Water Sci. – 2021. – Vol. 11. – №154. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01487-1>

25 Din A.T.M., Hameed B.H., Ahmad A.L. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 161. – №2–3. – P. 1522-1529. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.009>.

26 Aygun A., Yenisoay-Karakas S., Duman I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties // Microporous and Mesoporous Materials. – 2003. – Vol. 66. №2–3 P. 189-195

27 Патент на полезную модель №6376. Сатаев М.И., Есенбек А.С., Азимов А.М., Алексеева Н.В., Аширбаев Ж.С., Дуисебаев Ш.Е., Самонин В.В. Способ получения активированного угля. Оpubл. 22.04.2021 г.

28 Свидетельство на товарный знак «GOLD CARBON» № 77537 от 04.03.2022 г. ТОО «InnovTechProduct

29 Mai, N.T., Nguyen, M.N., Tsubota, T. et al. Evolution of physico-chemical properties of Dicranopteris linearis-derived activated carbon under various physical activation atmospheres // Sci Rep. – 2021. – Vol. 11. 14430. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93934-x>

30 Vela-Carrillo, A.Z., Martínez, R.J., Godínez, L.A. et al. Study of chemical, kinetic, and theoretical sorption properties of activated carbons obtained from agroindustrial origin: comparison of anionic and cationic model molecules // Biomass Conv. Bioref. – 2022. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02367-7>

31 Государственный общесоюзный стандарт (ГОСТ) 12597-67 – Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе (на Русском) (1986). <http://docs.cntd.ru/document/1200017238>

32 Государственный общесоюзный стандарт (ГОСТ) 17219-71. Угли активные. Методы определения времени защитного действия по бензолу и суммарного объема пор по воде (на Русском) (1986). <http://docs.cntd.ru/document/1200017243>

33 Государственный общесоюзный стандарт (ГОСТ) 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30078278

34 Esteban E., Rubin C.H., McGeehin M.A., Flanders W.D., Baker M.J., Sinks T.H. Evaluation of infant diarrhea association with elevated levels of sulfate in drinking water: A case control investigation in South Dakota. // *Int. J. Occup. Environ. Health.* – 1997. – Vol.19. – P. 171–176. doi: 10.1179/oeh.1997.3.3.171.

35 Deborah L. Leslie, W. Berry Lyons. Variations in Dissolved Nitrate, Chloride, and Sulfate in Precipitation, Reservoir, and Tap Waters, Columbus, Ohio // *Int. J. Environ. Res. Public Health* – 2018, – Vol. 15. – № 8. 1752. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081752>

References

1 Ussipbekova Ye.Zh. et al. “Issledovanie adsorbicii ionov medi i cinka sorbentami na osnove rastitel’nyh othodov – zhmyha i luzgi semjan podsolnuha”. *Vestnik KazNU. Serija jekeologicheskaja, [S.l.]* 67, no 2. (2021): 22-30. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v67.i2.02>.

2 Xin, B., Yu, J., Dang, W. et al. Dynamic characteristics of chlorine dispersion process and quantitative risk assessment of pollution hazard. *Environ Sci Pollut Res* 28, (2021): 46161–46175. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11864-z>

3 Richardson, S.D., Thruston, A.D., Caughran, T.V. et al. Identification of New Drinking Water Disinfection by – Products from Ozone, Chlorine Dioxide, Chloramine, and Chlorine. *Water, Air, & Soil Pollution* 123, (2000): 95–102. <https://doi.org/10.1023/A:1005265509813>

4 Niu, Z.G., Hu, X.P., Zhang, Y. et al. Effect of chlorine dosage in prechlorination on trihalomethanes and haloacetic acids during water treatment process. *Environ Sci Pollut Res* 24, (2017): 5068–5077. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8265-x>

5 Kuśmierk K. The removal of chlorophenols from aqueous solutions using activated carbon adsorption integrated with H₂O₂ oxidation. *Reac Kinet Mech Ca* 119, (2016): 19–34. <https://doi.org/10.1007/s11144-016-1039-0>.

6 Chen, W., Liu, Hc. Adsorption of sulfate in aqueous solutions by organo-nano-clay: Adsorption equilibrium and kinetic studies. *J. Cent. South Univ* 21, (2014): 1974–1981. <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2145-7>.

7 Dolenko, S.O., Trifonova, M.Y. & Ivanova, Z.G. Influence of Natural Water Components on the Sorption of Dodecyl Sulfate Anions on Kaolinite. *J. Water Chem. Technol* 44, (2022): 1–9. <https://doi.org/10.3103/S1063455X22010027>

8 Bennett S.L., Greenwood C.L., Williams E.M. (1993) ESDIAD Studies of Chlorine Adsorption at Silicon (100). In: Burns A.R., Stechel E.B., Jennison D.R. (eds) *Desorption Induced by Electronic Transitions DIET V*. Springer Series in Surface Sciences, vol 31. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78080-6_41.

9 Bakulin, A.V., Ereemeev, S.V., Tereshchenko, O.E. et al. Chlorine adsorption on the InAs (001) surface. *Semiconductors* 45, (2011): 21–29. <https://doi.org/10.1134/S1063782611010040>.

10 Skander Jribi, Anutosh Chakraborty, Ibrahim I. El-Sharkawy, Bidyut Baran Saha, Shigeru Koyama. Thermodynamic Analysis of Activated Carbon- CO₂ based Adsorption Cooling Cycles. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* 2, no 7. (2008): 854-857. doi.org/10.5281/zenodo.1328392.

11 Kumrić, K., Vujasin, R., Egerić, M. et al. Coconut Shell Activated Carbon as Solid-Phase Extraction Adsorbent for Preconcentration of Selected Pesticides from Water Samples. *Water Air Soil Pollut* 230, (2019): 302. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4359-7>

12 Paredes-Laverde M., Salamanca M., Silva-Agredo J., Manrique-Losada L., Torres-Palma R. A. Selective removal of acetaminophen in urine with activated carbons from rice (*Oryza sativa*) and coffee (*Coffea arabica*) husk: Effect of activating agent, activation temperature and analysis of physical-chemical interactions. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7, no 5. (2019): 103318. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103318>.

13 Berdenova B., Kaltayev A. “Review of adsorption and thermal characteristics of activated carbon and its application in ang storage and acs systems” *Bullerin of National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan* 3, no 367 (2017): 27 – 36

14 Kuśmierk, K., Świątkowski, A., Skrzypczyńska, K. et al. The effects of the thermal treatment of activated carbon on the phenols adsorption. *Korean J. Chem. Eng* 34, (2017): 1081–1090. <https://doi.org/10.1007/s11814-017-0015-3>

15 Boyanovskiy D., Kholman R., Li D.Sh., Sil’va Dzh.P. (1994) *Zapiska o termicheskoy aktivatsii. Yadernaya fizika* 441. no 3. (1995): 595-608. [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(95\)00047-v](https://doi.org/10.1016/0550-3213(95)00047-v)

16 Faisal, M.S.S., Abedin, F. & Asmatulu, R. Activated carbons of pistachio and acorn shells for supercapacitor electrodes with TEABF₄/PC solutions as electrolytes. *Carbon Lett* 30, (2020): 509–520. <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00120-6>

17 Al-Zahrani, K.S., Faqeeh, A.A., Abdulghani, Z.R. et al. A review on the physicochemical properties and utilization of date seeds in value-added engineering products. *Polym. Bull* (2022). <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04048-3>

18 Tsai, WT., Jiang, TJ. Mesoporous activated carbon produced from coconut shell using a single-step physical activation process. *Biomass Conv. Bioref* 8, (2018): 711–718. <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0322-x>

19 Singh, P., Dubey, P., Younis, K. et al. A review on the valorization of coconut shell waste. *Biomass Conv. Bioref* (2022). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03001-2>

20 Asadi-Sangachini, Z., Galangash, M.M., Younesi, H. et al. The feasibility of cost-effective manufacturing activated carbon derived from walnut shells for large-scale CO₂ capture. *Environ Sci Pollut Res* 26, (2019): 26542–26552. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05842-3>

21 Saleem, J., Shahid, U., Hijab, M. et al. Production and applications of activated carbons as adsorbents from olive stones. *Biomass Conv. Bioref* 9, 775–802 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00473-7>

- 22 da Costa, W.K.O.C., Gavazza, S., Duarte, M.M.M.B. et al. Preparation of Activated Carbon from Sugarcane Bagasse and Removal of Color and Organic Matter from Real Textile Wastewater. *Water Air Soil Pollut* 232, (2021): 358. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05306-w>
- 23 Feng Z.Y., Meng L.Y. Hierarchical porous carbons derived from corncob: study on adsorption mechanism for gas and wastewater. *Carbon Lett* 31. (2021): 643 – 653. <https://doi.org/10.1007/s42823-021-00231-8>
- 24 Ammar, N.S., Fathy, N.A., Ibrahim, H.S. et al. Micro-mesoporous modified activated carbon from corn husks for removal of hexavalent chromium ions. *Appl Water Sci* 11, (2021):154. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01487-1>
- 25 Din A.T.M., Hameed B.H., Ahmad A.L. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell. *Journal of Hazardous Materials* 161, no 2–3. (2009): 1522-1529. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.009>
- 26 Aygun A., Yeniso-y-Karakas S., Duman I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials* 66. no 2–3. (2003): 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2003.08.028>
- 27 Patent na poleznuju model №6376. Satayev M.I., Yessenbek A.S., Azimov A.M., Alekseeva N.V., Ashirbayev Zh.S., Duisebayev Sh.E., Samonin V.V. Sposob poluchenija aktivirovannogo uglja. Opubl. 22.04.2021 g.
- 28 Svidetel'stvo na tovarnyy znak «GOLD CARBON» № 77537 ot 04.03.2022 g. TOO «InnovTechProduct»
- 29 Mai, N.T., Nguyen, M.N., Tsubota, T. et al. Evolution of physico-chemical properties of *Dicranopteris linearis*-derived activated carbon under various physical activation atmospheres. *Sci Rep* 11, (2021): 14430. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93934-x>
- 30 Vela-Carrillo, A.Z., Martínez, R.J., Godínez, L.A. et al. Study of chemical, kinetic, and theoretical sorption properties of activated carbons obtained from agroindustrial origin: comparison of anionic and cationic model molecules. *Biomass Conv. Bioref* (2022). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02367-7>
- 31 Gosudarstvennyy obshchesoyuznyy standart (GOST) 12597-67 – Sorbenty. Metod opredeleniya massovoy doli vody v aktivnykh uglyakh i katalizatorakh na ikh osnove (na Russkom) (1986). <http://docs.cntd.ru/document/1200017238>
- 32 Gosudarstvennyy obshchesoyuznyy standart (GOST) 17219-71. Ugli aktivnyye. Metody opredeleniya vremeni zashchitnogo deystviya po benzolu i summarnogo ob'yoma por po vode (na Russkom) (1986). <http://docs.cntd.ru/document/1200017243>
- 33 Gosudarstvennyy obshchesoyuznyy standart (GOST) 2874-82 Voda pit'yevaya. Gigiyenicheskiye trebovaniya i kontrol' za kachestvom.
- 34 Esteban E., Rubin C.H., McGeehin M.A., Flanders W.D., Baker M.J., Sinks T.H. Evaluation of infant diarrhea association with elevated levels of sulfate in drinking water: A case control investigation in South Dakota. *Int. J. Occup. Environ. Health* 19, (1997): 171–176. doi: 10.1179/oe.1997.3.3.171.
- 35 Deborah L. Leslie, W. Berry Lyons. Variations in Dissolved Nitrate, Chloride, and Sulfate in Precipitation, Reservoir, and Tap Waters, Columbus, Ohio. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, no 8. (2018): 1752. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081752>