



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

На правах рукописи

КУАССИ БРУ ГИЙОМ

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ИЗ ОТХОДОВ ОРЕХА
АНАКАРД ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОД
(на примере республики Кот д'Ивуар)**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Серпокрылов Николай Сергеевич

г. Ростов-на-Дону
2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
Глава 1 Описание коммуны Димбокро и ее системы водоснабжения и водоотведения.....	12
1.1 Местоположение и население.....	12
1.2 Хозяйственная деятельность.....	13
1.3 Климат и растительность.....	14
1.4 Рельеф и геология.....	15
1.5 Гидрогеология и гидрология.....	16
1.6 Состав подземных вод и реки Н'Зи в коммуне Димбокро.....	17
1.7 Система водоснабжения.....	20
1.8 Реагенты и процесс очистки воды	24
1.9 Система водоотведения.....	26
1.10 Вывод по первой главе и постановка задач исследований.....	27
Глава 2 Обзор литературы, теоретические основы понятия и получения активированного угля.....	29
2.1 Активированный уголь.....	29
2.2 Адсорбция и адсорбенты.....	31
2.3 Изотермы адсорбции.....	32
2.4 Характеристика активированного угля.....	35
2.4.1 Пористая структура активированного угля.....	36
2.4.2 Удельная поверхность активированного угля.....	44
2.4.3 Поверхностные функции активированного угля.....	51
2.4.4 Рентгенофазовый анализ (РФА).....	52
2.4.5 Элементарный анализ активированного угля.....	53
2.4.6. Концентрация водородных ионов (рН) активированного угля.....	53
2.4.7 Зольность активированного угля.....	53
2.5 Методы получения активированного угля.....	54

2.5.1 Подготовка исходного материала.....	54
2.5.2 Карбонизация или пиролиз.....	54
2.5.3 Активация.....	54
2.6. Влияние некоторых факторов на характеристику активированных углей.....	55
2.7 Активированный уголь как фильтрующий материал (ФМ) и фильтр с активированным углем.....	60
2.8 Выводы по второй главе и уточнение задач исследований.....	60
Глава 3 Экспериментальная часть - материалы и методы исследований....	62
3.1 История дерева анакарда (анакардиум).....	62
3.2 Плоды дерева анакарда.....	61
3.3 Подготовка скорлупы ореха анакарда к карбонизации.....	66
3.4 Карбонизация скорлупы ореха анакарда после извлечения масла.....	67
3.5 Физическая активация (парогазовая активация).....	67
3.6 Характеристики карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700).....	68
3.7 Применение полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700) для удаления ионов $Fe_{общ}$ и Mn^{2+}	70
3.7.1 Применение полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700) для удаления ионов $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} из модельного раствора.....	72
3.7.2 Применение полученного активированного угля АУ700 для удаления ионов $Fe_{общ}$ в химическом стоке.....	72
3.8 Исследование процесса получения фильтрующего материал из скорлупы ореха анакарда и его применение.....	74
3.9 Выводы по третьей главе.....	75
Глава 4 Экспериментальные результаты и обсуждение.....	77
4.1 Показатели функциональных групп карбонизата (У800).....	77
4.2 Показатели химического состава карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700).....	77

4.3 Показатели pH карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700).....	79
4.4 Показатели зольности карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700).....	79
4.5 Показатели удельной поверхности, пористости структуры, размера пор, насыпной плотности карбонизата (У800) и активированных углей (АУ400, АУ600, АУ700).....	80
4.6 Показатели рентгенофазового анализа карбонизата (У800) и активированных углей (АУ400, АУ600, АУ700).....	83
4.7 Сравнительная оценка физических характеристик полученных и известных активированных углей	85
4.8 Показатели удаления ионов железа и марганца из вод полученными активированными углями	87
4.9 Показатели применения активированного угля (АУ700) для удаления ионов ($Fe_{общ}$) из химического стока.....	94
4.10 Результаты получения фильтрующего материала из СОА и его применение в сорбционном фильтре.....	97
4.11 Выводы по четвертой главе.....	101
Глава 5 Эколого-экономическая оценка производства активированного угля из скорлупы ореха анакарда.....	102
5.1 Оценка экологической безопасности отходов при производстве скорлупы ореха анакарда.....	103
5.2 Разработка рекомендаций по применению скорлупы ореха анакарда.....	103
5.3 Расчет экономической производства активированного угля из скорлупы ореха анакарда.....	104
5.3.1 Оборудование и капитальные затраты.....	103
5.3.2 Расчет затраченной энергии.....	104
5.3.3 Расчет затраченной воды.....	105

5.3.4 Расчет зарплаты.....	106
5.3.5 Себестоимость	107
5.3.6 Определение цены на 1 кг АУ, FCFA.....	108
5.3.7 Расчет прибыли для производства АУ из СОА (П), FCFA.....	108
5.3.8 Расчет рентабельности (Р), FCFA.....	108
5.3.9 Окупаемость (ОК), FCFA.....	108
5.3.10 Сводная таблица отпускной цены активированного угля из скорлупы ореха анакарда и активированного угля на рынке в республике Кот-д'Ивуар и в России.....	109
5.3.11 Расчет для уменьшения срока окупаемости.....	109
5.4 Выводы по пятой главе.....	110
Заключение.....	111
Библиографический	
список.....	112
Приложения.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Африканская Водная Ассоциация (Association Africaine de l'Eau – ААЕ) выполняет следующую миссию [1]:

- обеспечивать скоординированные действия для приобретения и улучшения знаний в области производства и распределения питьевой воды и управление систем водоотведения с точки зрения технической, правовой, административной и экономической;

- содействовать обмену информацией об исследованиях, методах, процессах и процедурах систем водоснабжения и водоотведения;

- создавать, развивать и поощрять все действия по сотрудничеству и обмену в области профессионального образования, в области системы водоснабжения и водоотведения.

Эта ассоциация проводит Съезд каждые два года. Последние три съезда состоялись [2, 3]:

- XVII Съезд проходил с 17 по 20 февраля 2014г. в городе Абиджане (Республика Кот-д'Ивуар), темой которого являлось «Привлечение ресурсов и руководство системой водоснабжения и водоотведения в Африке»;

- XVIII Съезд проходил с 22 по 26 февраля 2016г. в городе Найроби (Кения), темой которого являлось: «Долговечность эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения»;

- XIX Съезд проходил с 11 по 16 февраля 2018г. в городе Бамако (Мали), темой которого являлось: «Ускорение доступа систем водоснабжения и водоотведения для всех стран в Африке, сталкивающиеся с проблемами изменения климата».

Главные цели Съездов – это разработка методов удаления загрязнений поверхностных и сточных вод, а также улучшение системы водоснабжения и водоотведения африканских стран с использованием новых технологий для обработки воды. Другими словами, это охрана окружающей среды и

использования природных ресурсов, которые есть в Африке, для повышения эффективности очистки воды.

В Республике Кот-д'Ивуар выращивается большое количество ореха анакарда [4]. Это самая крупнейшая страна, в которой произрастает орех анакарда в Африке. Страна получает: в 2010г. -380 тыс тонн. [5]; в 2012г. -450 тыс. тонн [6]; в 2015 г. -625 -700тыс. тонн [7, 8] и около 725 тыс. тонн в 2016г., что составляет 24% всего производства в мире [8]. 750тыс. тонн в 2018г. [9]. Четыре тысяч (4000-5000) тонн орехов анакарда обрабатываются в год на одном из крупнейших заводов по переработке ореха анакарда в городе Димбокро (в республике Кот-д'Ивуар в 2012- 2013г.) [10].

При переработке ореха в виде отходов производства образуется большое количество скорлупы ореха анакарда (СОА), которая является загрязнителем окружающей среды. СОА была исследована только для производства энергии [4, 12, 13, 14]. Однако, как мы знаем из литературных источников, СОА еще не была исследована для производства и применения активированного угля (АУ) в качестве адсорбента для очистки воды.

В регионе Димбокро, в общем, физико-химические показатели поверхностных и подземных вод не представляют серьезной опасности для потребления человеком в сухой период года. Однако, в дождливый период относительно высокие уровни Feобщ (2,5 мг/л) и Mn^{2+} (0,9 мг/л) зарегистрированы во многих населенных пунктах республики и являются серьезной проблемой для потребления человеком и животными и растениями. Железо приводит к угнетению растений и снижению урожая, не должно превышать 1 мг/дм³, марганец вызывает морфологические изменения у растений (отмирание листьев и стеблей), содержание его не более 0,1 мг/дм³. Требуется их выделение из вод, в т. ч. - с применением АУ из местного сырья, каким могут быть отходы СОА [15].

Степень разработанности темы. Исследованиям способов очистки вод сорбентами, полученными из растительности, посвящено достаточно много работ

российских (Баженов В.И., Бузаева М.В., Вильсон Е.В., Губий И.Г., Долина Л.Ф., Ким А.Н, Клушин В.Н., Мухин В.М., Пономарева Е.Н., Серпокровлов Н.С., Смирнов А.Д., Смоляниченко А.С., Тарасов А.В, Ю.Ю. Юрьев и др.) и зарубежных ученых (Alemayehu A.M., Athéba G.P., Bini Dongui, Drissa Bamba, Didier Robert, Guessan Elogne Zoro, A.V. Prasada Rao, Siva Rao T., Trokourey A., Jean Victor Wéber и др.). В то же время в литературе не обнаружено публикаций, за исключением автора, по получению и исследованию АУ из СОА для очистки вод.

Цель исследования: производство АУ из отходов СОА и его использование для удаления ионов железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$) и марганца (Mn^{2+}) из поверхностных, подземных и сточных вод.

Объект исследования: технология и технические решения удаления ионов железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$) и марганца (Mn^{2+}) из вод.

Предмет исследования: процесс удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды с использованием АУ, полученного из СОА.

Методология и методы исследования. В качестве методологической и научной основы для определения свойств и состава материалов использовались электронная микроскопия, рентгеновская инфракрасная спектроскопия и термогравиметрия со статистической обработкой результатов исследований на ПЭВМ по стандартным программам. В качестве теоретической базы приняты фундаментальные законы адсорбции и гидродинамики, а также - научные работы российских и зарубежных специалистов получения активных углей из отходов.

Задачи исследования:

1. Исследование получения активированного угля (АУ) из скорлупы ореха анакарда (СОА) по методу физической активации при различных температурах.
2. Исследование рабочих характеристик полученного АУ для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе.
3. Исследование применения порошкообразного и зернистого АУ для очистки хозяйственно - питьевых вод.

4. Исследование получения фильтрующего материала (ФМ) из СОА и его применение в сорбционном фильтре для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды.
5. Разработка рекомендаций по получению АУ из отходов СОА и применению в водоохраных технологиях.
6. Эколого-экономическая оценка применения полученного нового сорбента в водоохраных технологиях.

Научная новизна результатов исследований заключается в следующем:

1. Установлено, что кипячение скорлупы ореха анакарда, измельченной до фракции 3-6 мм, и ее дальнейшая карбонизация при 800°C , позволяет удалить фенольные и карбоксильные группы из скорлупы.
2. Показано, что при получении активированного угля из СОА физической активацией, увеличивается удельная поверхность адсорбции АУ в 4-6 раз.
3. Показано, что полученный АУ из СОА (фракция $\leq 0,16\text{мм}$) позволяет удалить ионы $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды на 98% в (полученный АУ может служить для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды по методу "Акти - фло").
4. Установлено, что кинетика адсорбции $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} соответствует модели псевдо-второго порядка.
5. Показано, что полученный АУ из СОА (фракция 0,5-2,5 мм) может служить эффективным фильтрующим материалом (ФМ) в сорбционном фильтре для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработка операционных технологий получения АУ из СОА методом физической активации при различных температурах.
2. Результаты исследования свойств и рабочих характеристик полученных АУ для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из вод.
3. Результаты исследования применения порошкообразного и зернистого АУ для очистки химического стока.

4. Разработка технологий и технических средств для получения зернистого и порошкообразного фильтрующих материалов (ФМ) из СОА и его применения в сорбционном фильтре.

5. Экономика производства АУ из СОА в сравнении с сорбентами из других видов растительности.

Теоретическая значимость работы:

1. Прогнозирование технического прогресса и экологической безопасности при производстве и применении сорбентов из отходов СОА.

2. Разработана методика для проведения численного эксперимента, позволяющего удалить $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} на АУ из СОА.

3. Математическая адсорбция $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} из вод на полученных АУ описывается моделью кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея).

Практическая значимость работы:

1. Впервые обоснованы использование отходов СОА для получения АУ и технологическая последовательность обработки СОА физико - химическими и термическими методами.

2. По результатам рентгенофазового анализа (РФА) степень графитации, межплоскостное расстояние и размеры кристаллитов полученного АУ изменяются незначительно и характерны для неграфитированного аморфного материала.

3. Получен вид АУ из СОА для извлечения $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} из водных растворов и сточных вод. Разработан способ и создана опытно-промышленная установка для получения нового типа АУ.

4. Разработаны рекомендации и предложена методика расчета по применению СОА в водоохраных технологиях.

Реализация результатов исследований. Экспериментальная часть работы выполнена в лаборатории кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ДГТУ, в испытательном центре АО «НИИГрафит» (г. Москва), в аккредитованной лаборатории очистных сооружений машиностроительного завода ОАО

«Ростсельмаш». Разработана и принята ко внедрению схема реконструкции системы очистки питьевой воды г. Димбокро компанией по водоснабжению: «Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI)» (Республика Кот д'Ивуар).

Достоверность результатов исследования. Экспериментальные данные получены с применением современных сертифицированных приборов по аттестованным методикам выполнения измерений. Исследование проводилось в аккредитованных лабораториях: испытательный центр АО «НИИграфит» (г. Москва), завод ОАО «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону) и лаборатория ДГТУ.

Апробация результатов работы: Основные результаты работы докладывались на научно-технических конференциях ДГТУ 2015 - 2019 гг.; IX Международной научно-практической конференции «Техновод-2016» (г. Ростов-на - Дону, 2016 г.).

Личное участие соискателя в получении результатов. Личный вклад автора состоит в изучении и анализе литературных данных, в формулировке и постановке задач исследований, в проведении лабораторных и опытно-промышленных исследований, в получении, обработке и анализе результатов, в формировании выводов, в разработке предложений и технических решений по повышению эффективности удаления $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} и внедрении в практику разработанных технологий и технических решений, в написании научных статей.

Публикации: По теме диссертационной работы опубликовано 5 научных статей, из них 3 ВАК, 1 SCOPUS, 1 РИНЦ.

Структура и объем диссертации: Работа состоит из введения, 5 глав, выводов, библиографического списка и приложений. Работа имеет общий объем 164 страницы основного текста, содержит 29 таблиц, 37 рисунков, 189 источников литературы и приложения.

ГЛАВА 1 ОПИСАНИЕ КОММУНЫ ДИМБОКРО И ЕЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

1.1 Местоположение и население

Республика Кот-д'Ивуар – это государство в Западной Африке. Страна расположена между 2°30' и 8°30' западной долготы и 4°30' и 10°30' северной широты. На юге страна омывается водами Гвинейского залива. На востоке страны находится государство Гана; на севере страны, находятся государство Буркина-Фасо и Мали; а на западе страны находятся Гвинеи и Либерия. Площадь и население страны 322 462 км², 22 671 331 человек (2014г.) [16].

Коммуна Димбокро расположена в центрально-восточной части Кот д'Ивуара, между 4°42' 31'' и 4°28' 40'' западной долготы и 7°4'15'' и 6°32'13'' северной широты (рис. 1.1) [17]. Коммуна Димбокро включает в себя города Димбокро и 24 деревни. Город Димбокро имеет 13 районов: «Sokouradjan, Dioulakro, Belleville, Komikro, Cité Sogefiha, Blaidy, Koulibaly, Residence ancienne, Koffikro, Zone économique, Commerce, Residentiel, Langui-broukro». Деревни коммуны в пригороде города: Абижи («Abigui»), Соганссу («Soungassou»), Крангранссу Елибо («Kangrassou elluibo»), Дадие Куассикро («Dadie kouassikro»), Ауниассу («Ahouniassou»), Едиакро («Ediakro»), Тромабо («Tromabo»), Ебимолоссу («Ebimolossou»), Крококро («Krokokro»), Кажабо («Kadjabo»), Коффи Ауссукуро («Koffi Ahoussoukro»), Асеброкро («Assebrokro»), Бассу-Юобуессу («Bassa-yobouessou»), Колибо («Kolibo»), Андиану («Andianou»), Ниямонссу («Niamanssou»), Канграссу Юобуебо («Kangrassou Yobouebo»), Тангуманссу («Tangoumanssou»), Фетеассу («Faiteassou»), Канграссу Мбрисуенуан («Kangrassou Mbrisuenouan»), Коффи Куадиокро («Koffi Kouadiokro»), Сокро («Sokro»), Аллокро Куакукро («Allokro Kouakoukro»). Площадь коммуны Димбокро -141 км² [18], площадь города Димбокро примерно - 9,20 км² (920 гектаров), население города Димбокро - 64957 человек в 2014г. [16].

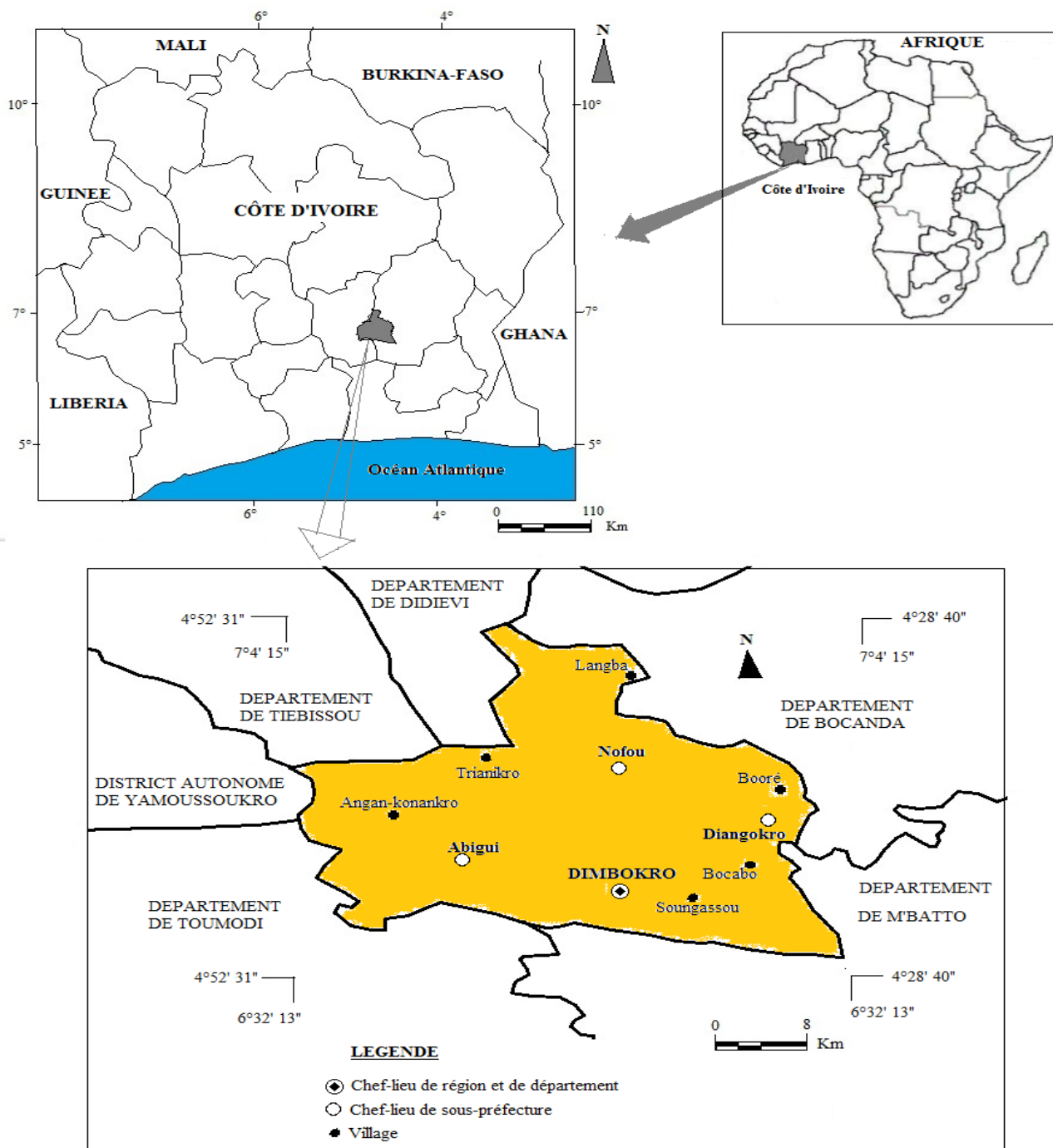


Рисунок 1.1 - Регион Димбокро [17]

1.2 Хозяйственная деятельность

Хозяйственная деятельность населения региона Димбокро представлена торговлей; выращиванием домашнего скота; ремеслом и сельским хозяйством. Сельское хозяйство является основной деятельностью и источником дохода

населения (продажа сельскохозяйственной продукции): иньям – 75277 т/год; маниок – 67358 т/год; бананы – 3791 т/год; кофе 4585 – т/год; какао - 3362 т/год; пальмовое масло; гевея и анакард [18]. Существуют три завода в городе: завод текстильной фабрики «UTEXI-CI»; лесопильный завод «IVOSEP» и завод по обработке анакарда (OLAM - около 4 000 тонн орехов анакарда/год) [10].

Как правило, республика Кот-д'Ивуар не имеет сильной традиции разведения крупного рогатого скота (низкое производство мяса). Обычно страна зависит от Сахело-Суданского региона для снабжения (закупки) мяса домашнего скота [19]. Северный регион Кот-д'Ивуара имеет много преимуществ для животноводства. Стадо (табун) этого региона, тем не менее, малочисленный, поскольку в 1999 году оно составляло всего 70000 голов [20]. Согласно Tangui (2004), 2/3 поголовья крупного рогатого скота находится в районах северного Кот-д'Ивуара [21]. Количество животных увеличилось за 10 лет с 1145000 голов в 1991 году до 1442000 голов в 2001 году, это стадо в основном сосредоточено в северных (83%) и центральных (11%) регионах страны [22]. Расход воды для крупного рогатого скота оценивается в 40 л/сут [23].

1.3 Климат и растительность

Климатический режим региона Димбокро варьируется в зависимости от месяца года: влажный тропический, очень жаркий и относительно сухой, характеризуется четырьмя сезонами - два дождливых сезона и два сухих [18, 24, 25]:

- дождливые сезоны: с марта по июнь (4 месяца), с сентября по октябрь (2 месяца);
- сухие сезоны: с ноября по февраль (4 месяца), с июля по август (2 месяца).

Среднемесячное количество осадков от 11 мм до 198 мм. Межгодовой уровень осадков, рассчитанный за период 1950-2000 годов, составляет 1155 мм. Средняя температура зоны колеблется от 25° до 29°C.

Растительность региона представлена мезофильными широколиственными лесами, а также большими площадями саванн, разделенных пышными галерейными лесами. Также существует растительность, искусственно выращенная или сформированная человеком: чередование лесных плантаций и саванн [18, 24].

1.4 Рельеф и геология

Рельеф коммуны Димбокро представляет собой плато и равнину [18]. Рельеф региона однообразен и состоит из пологого плато, наклоняющегося к от севера к югу. Средняя высота над уровнем моря около 150 м [25]. Холмы соответствуют особенно зеленые горные породы [25].

Геология коммуны Димбокро представлена тремя типами почв [18]:

- почвы ферраллитные на горных породах (порода гранита);
- глинистые или песчаные, перегной (гумус) или гидроморф, вблизи реки Н'зи;
- почвы, состоящие из основных горных пород в зоне саванны, в которых присутствуют золото и бокситы.

Горные породы более или менее богаты ферромагнезиальными минералами, кальцием, кремнеземом и оксидами, имеют изменения, приводящие к образованию глины [14, 26]. Изменение гранитов происходит достаточно неглубоко (менее 10 м) [14, 27, 28]. По исследованиям Yoboue и др. (2010 г.) [14, 26], железо и марганец в большей степени связаны с фракциями илистых и песчаных почв; только алюминий, исключение из этого правила, очень часто встречается в октаэдрических слоях глины. В середине склона эти элементы интегрированы в структуру почвенных глин. В песке обнаружено преобладание минералов железа и кварца. Исследования показали, что существуют, как правило, в Кот-д'Ивуаре [29], а железистые брони – в регионе Димбокро [30]. Броня – это

толстая поверхностная корка (до нескольких метров), сильно закаленная путем осаждения железа и алюминия, формируется в сухие сезоны [14].

1.5 Гидрогеология и гидрология

В 2010г. показано что, в регионе Димбокро, как правило, расход скважин низкий, он варьируется от 0,1 до 45 м³/ч. Более 50% скважин имеют расход менее 2 м³/ч, а из почти 800 скважин, пробуренных в регионе, только 123 имеют расход больше или равный 5 м³/ч. В гранитах расход скважины является низким с максимумом 1,8 м³/ч на глубине 40 и 60 м [24]. В 2012г. [31] исследование показало, что в регионе Димбокро, расходы скважины варьируются между 0,30 и 16 м³/ч, со средним значением 3,89 м³/ч. В общем, скважины имеющие глубину от 40 до 120м, имеют и большую производительность [31]. В 2016г. исследование показало в регионе, что расходы скважин в регионе Димбокро имеют 5-10 м³/ч на глубине от 6 до 70м [32].

Согласно классификации Межафриканского комитета по гидравлическим исследованиям («Comité Interafricain d'Étude Hydraulique», 1978) получены следующие данные:

- от 0 до 1 м³/ч, очень слабый расход;
- от 1 до 2,5 м³/ч, слабый расход;
- от 2,5 до 5 м³/ч, средний расход;
- от 5 до 10 м³/ч, сильный расход;
- более 10 м³/ч, очень сильный расход.

Самая важная река коммуны Димбокро – это река Н'Зи. Ее длина 725 км, бассейн площадью 35 500 км². Река берет свое начало на высоте 400 метров к востоку от города Феркеседугу (Республика Кот-д'Ивуар) и течет в направлении с севера на юг со средним уклоном 0,053% [18, 33]. Основными притоками реки Н'зи являются: река Кан («Кан»); расположенная на востоке [33]; речка Урого

(Ourogo), которая проходит вдоль деревни Ауниясу («Ahouansou») и река Бонго («Bongo») примыкает к деревне Буэ-Акпекро (Booé-Akpekro).

1.6 Состав подземных вод и реки Н'Жи в коммуне Димбокро

Состав, физико-химические показатели подземных вод в регионе Димбокро представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1- Физико-химические показатели подземных вод в регионе Димбокро (источник в 2010 г. [14])

№	Показатели	Единица	Мини.	Мак.	Средний	Норм OMS[34]
1	pH		5,12	8,31	6,58	6,5-8,5
2	Проводимость	μS/cm (мкСм/см)	106	1535,00	391,40	-
3	Температура	°C	21,40	31,60	27,18	-
4	Мутность	NTU (1NTU = 0.58мг/л)	0,33	3,49	0,79	≤5
5	Цветность	UCV (°ПКШ)	-	-	-	≤15
6	Марганец (Mn)	мг/л	0	0,9	0,04	≤0,1
7	Железо (Fe)	мг/л	0	2,5	0,19	≤0,3
8	Кальций (Ca ²⁺)	мг/л	4,01	155,00	32,51	
9	Mg ²⁺	мг/л	1,94	48,60	13,02	
10	Натрий (Na ⁺)	мг/л	0,95	7,06	3,27	
11	Калий (K ⁺)	мг/л	0,42	3,14	1,46	≤ 12
12	Гидрокарбонат (HCO ₃ ⁻)	мг/л	61	451,40	209,05	
13	Хлор (Cl ⁻)	мг/л	3,55	92,20	17,61	≤ 250
14	Нитрат (NO ₃ ⁻)	мг/л	0	27,00	1,5	≤ 50
15	Сульфат (SO ₄ ²⁻)	мг/л	0	26,00	5,09	≤ 250
16	Аммоний (NH ₄ ⁺)	мг/л	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
17	ТН общий	°F	2,80	58,48	13,42	
18	Окисляемость (KMnO ₄)	мг O ₂ /л	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

Примечания:

OMS: «Organisation Mondiale de la Santé» - Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ); NTU: «Nephelometric turbidity unit»- Нефелометрическая единица мутность, 1NTU = 0.58мг/л; UCV: «Unité decouleur vraie» - 15 UCV= 15 mg/L Pt-Co (Единица измерения, платинокобальтовая шкала); ТА: «Titre alcalimétrique» - щелочной титр или свободная щелочность); ТАС: «Titre alcalimétrique complet» - щелочной титр или общая щелочность); ТН: «Titre hydrotimétrique» - гидротиметрический титр или общая жесткость.

Подземные воды имеют температуру от 24,4 до 31,6 °C и обычно имеют pH=6,58. Подземные воды содержат очень мало взвешенных частиц. Это приводит к тому, что значения мутности остаются низкими в целом (от 0,33 до 3,49 NTU). Воды обычно имеют электрическую проводимость от 250 до 750 мксм/см (69%), что соответствует умеренно минерализованным водам. Изучаемые воды обычно являются мягкими (около 70%).

Изученные подземные воды в регионе в целом не представляют серьезной опасности для потребления человеком. Однако значения нитратов (от 0 до 27 мг/л) в водах, хотя и ниже стандарта OMS (ВОЗ) [34], указывают на начало локализованного и антропогенного загрязнения. Кроме того, относительно высокие уровни железа (2,5 мг/л) и марганца (0,9 мг/л), зарегистрированные в некоторых населенных пунктах, являются серьезной проблемой [14].

В 2016г. [33] в одном из исследований показано, что в регионе Димбокро значения концентрации нитратов в подземных водах варьируются от 0 до 35,8 мг/л. Уже исследование в 2010 г. [14] подтверждало начало загрязнения нитратами.

Если говорить о составе вод реки Н'Зи в сухие и дождливые сезоны, то значения ежедневных, ежемесячных или ежегодных физико-химических показателей вод реки Н'Зи региона Димбокро в сухие и дождливые сезоны не описаны в литературе. Однако компания водоснабжения республики Котд'Ивуара «(Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire - SODECI)» [34] ежедневно выполняет анализы вод реки Н'Зи и обработанной воды в городе Димбокро. Некоторые средние значения физико-химических показателей вод реки Н'Зи и обработанной воды, в различные сезоны (сухие и дождливые сезоны), за период с 2000 по 2018 г. представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 - физико-химические показатели вод реки Н'Зи (необработанная вода) и обработанной воды в различные сезоны (сухие и дождливые) за период с 2010 по 2018 г.

№	Показатели	Единица	необработанная вода		Обработанная вода	Норм OMS [34]
			Сухой сезон	Мокрый сезон		
1	рН		7,18	6,9	6,92	6,5-8,5
2	Проводимость	$\mu\text{S}/\text{cm}$ (мкСм/см)	122	70	121,1	-
3	Температура	$^{\circ}\text{C}$	27,4	27,1	28,2	-
4	Мутность	NTU (1NTU = 0.58мг/л)	4,76	124	0,7	≤ 5
5	Цветность	UCV ($^{\circ}\text{ПКШ}$)	61	608	4	≤ 15
6	Марганец (Mn^{+2})	мг/л	0,03	0,1	0,01	$\leq 0,1$
7	Железо (Fe)	мг/л	0,01	2,32	0,04	$\leq 0,3$
4	Алюминий (Al^{3+})	мг/л	0,00	0,01	0,01	$\leq 0,2$
5	Цинк (Zn^{+3})	мг/л	0,01	0,01	0,02	≤ 3
6	Медь (Cu^{2+})	мг/л	0,09	0,1		< 2
7	Натрий (NO_2^-)	мг/л	0,002	0,011	0,001	≤ 3
8	Нитрат (NO_3^-)	мг/л	2,6	2,2	2,4	≤ 50
9	Хлор (Cl^-)	мг/л	8,9	9,1	4,1	≤ 250
10	Калий (K^+)	мг/л	4,4	4,3	3,8	≤ 12
11	Сульфат (SO_4^{2-})	мг/л	3		7,1	≤ 250
12	Аммоний (NH_4^+)	мг/л	0,07	0,05	0,04	$\leq 1,5$
13	Фосфат (PO_4^{3-})	мг/л	0,62		0,69	
14	Фтор (F^-)	мг/л	0,16		0,10	$\leq 1,5$
16	(S^{2-})	мг/л	0,006	0,005	-	$\leq 0,05$
17	Окисляемость (KMnO_4)	мг O_2 /л	3,4	4,3	1,1	≤ 5
18	ТН общий	$^{\circ}\text{F}$	3,8		4,1	

Средние значения рН, проводимости, температуры воды в реке не представляют опасности, так как эти значения соответствуют стандартам ВОЗ (OMS).

Среднее значение мутности в сухой сезон (4,76 NTU) соответствует стандартам ВОЗ [34]. Зато среднее значение мутности во влажный сезон (124 NTU) превышает стандарты ВОЗ [34]. Вода реки мутнее в дождливые сезоны, чем

в сухие сезоны, потому что во время дождливых сезонов воды поверхностного стока транспортируют минеральные вещества (песок, глина), органические (листья) и мусор в реку. То же самое происходит и по цвету воды.

Средние значения марганца в сухой сезон (0,03 мг/л) и мокрый сезон (0,1 мг/л) соответствуют стандартам ВОЗ.

Среднее значение железа в сухой сезон (0,01мг/л) соответствует стандартам ВОЗ, но среднее значение в дождливые сезоны (2,32 мг/л) превышает стандарты. Железо существует в бронях региона. И после дождя железо транспортируется через водоносный горизонт в подземные воды, а затем и в реку Н'Зи [14].

Средние значения алюминия (0,01мг/л) и цинка (0,01мг/л) в сухой сезон и мокрый сезон соответствуют стандартам ВОЗ [34].

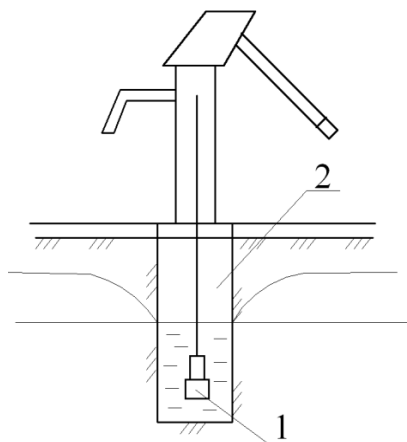
1.7 Система водоснабжения

До 1956г. в Кот д'Ивуаре насчитывалось очень мало городов, которые имели системы водоснабжения [36]: г. Абиджан, г. Бассам и г. Адиаке. С 1956 по 1959г. компания «Energie Electrique de Côte d'Ivoire (EECI)» [37] обеспечивала питьевой водой потребителей. Компания занималась системой водоснабжения в стране. 1 октября 1959 г. французская компания: «Société d'Aménagement Urbain et Rural (SAUR)» [38] подписала контракт на обеспечение питьевой водой г. Абиджан. Этот контракт предусматривает, что компания «SAUR» создает государственную компанию Кот д'Ивуара. Таким образом, в 27 сентября 1960 г. была открыта компания водоснабжения республики Кот-д'Ивуара «Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI)» [35], которая заменила «SAUR». В настоящее время компания водоснабжения Кот д'Ивуара «SODECI» обеспечивает управление системой водоснабжения на всей территории Кот д'Ивуара [36, 39].

В Кот-д'Ивуаре, как правило, потребление воды в городах и небольших населенных пунктах составляет, соответственно, 65-300л/сут/чел и 10-50л /сут/чел [23, 38].

В коммуне Димбокро существуют три типа системы водоснабжения: система водоснабжения сельских населенных мест; улучшенная система водоснабжения и городская система водоснабжения или система водоснабжения [14, 18].

Система водоснабжения сельских населенных мест представляет собой скважину, которую оборудуют поршневым насосом и водопроводной колонкой (рисунок 1.2).



1- насос; 2 - скважина

Рисунок 1.2 – Система водоснабжения сельских населенных мест:

Как правило, для обеспечения водоснабжения сельских населенных мест необходимо соблюдать следующие критерии [40, 41]:

- население от 400 до 2000 человек [40];
- производительность скважины не менее 1 м³/ч [23];
- создание населением комитета управления [41].

Распределение воды производится на месте с помощью одного или нескольких кранов, установленных вблизи резервуара. Встречается такая система в двадцати двух (22) деревнях коммуны Димбокро [17]. Государство обеспечивает техническую поддержку обслуживания скважин [43].

Улучшенная система водоснабжения сельских населенных мест представляет два вида улучшенной системы водоснабжения сельских населенных мест.

В комплект первого вида входят электрический насос, водопроводная колонка, магистральная труба, водонапорная башня. Вода со скважины под действием электрического насоса подается в водонапорную башню. Из башни под действием статического напора вода поступает на водопроводную колонку. Распределение воды производится на месте с помощью одного или нескольких кранов, установленных вблизи резервуара (рисунок 1.3а).

В отличие от первого варианта второй вариант этой системы имеет небольшую водопроводную сеть, фильтр и бак для обработки воды. Обрабатывают воду только с помощью хлора (рисунок 1.3б).

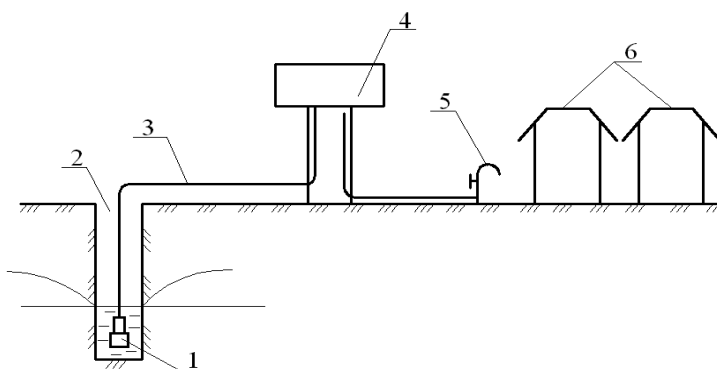


Рисунок 1.3а - Улучшенная система водоснабжения сельских населенных мест (первый вариант): 1-насос; 2-скважина; 3-магистральная труба; 4- водонапорная башня; 5-кран; 6-дома.

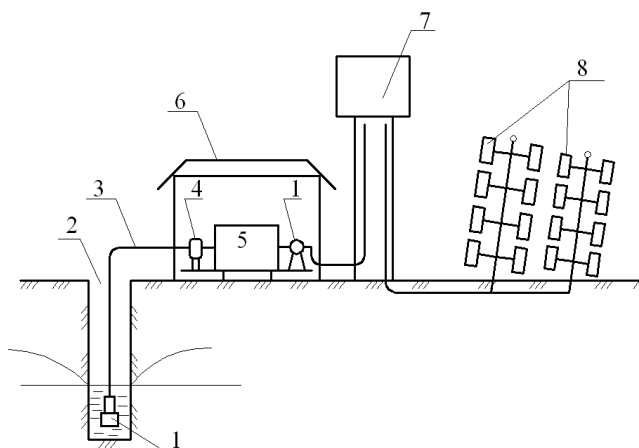


Рисунок 1.3б - Улучшенная система водоснабжения сельских населенных мест (второй вариант): 1-насос; 2-скважина; 3-магистральная труба; 4- фильтр; 5- бак; 6- помещение; 7- водонапорная башня; 8 – водопроводная сеть.

Критерии, которые нужно соблюдать для получения улучшенной системы водоснабжения сельских населенных мест следующие [23, 40]:

- население от 2000 до 4000 человек;
- местность электрифицирована и имеет план подразделения;
- производство скважины больше $3 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- финансирование части проекта населением (от 15 до 20% от стоимости капиталовложений);
- создание населением комитета управления.

Государство обеспечивает техническую поддержку обслуживания [41].
Используется эта система в трёх деревнях коммуны Димбокро [18].

Городская система водоснабжения включает в себя инженерные сооружения: береговой колодец, магистральную трубу, станцию очистки воды; резервуар чистой воды; водопроводную сеть, водонапорную башню, пожарные гидранты [23]. Как правило, в Республике Кот д'Ивуар эта система используется для пунктов населением более 4000 человек [40]. Таким образом, г. Димбокро имеет городскую систему водоснабжения, производительность которой около $2500 \text{ м}^3/\text{сут}$ ($104,16 \text{ м}^3/\text{ч} = 28,93 \text{ л/с}$). Учитывая население г. Димбибро (64957 человек, 2014г.), можно сказать, что потребление воды города составляет $38,48 \text{ л/сут}$.

Установка обработки питьевой воды в городе Димбокро включает в себя две станции: береговую насосную станцию и станцию очистки воды, расстояние между двумя станциями примерно 1,5 км.

Береговая насосная станция представляет собой следующие сооружения:

- береговой колодец глубиной примерно 10 м;
- магистральная труба $\varnothing 350 \text{ мм}$;
- насос.

Станция очистки воды представляет собой следующие сооружения:

- приемный резервуар необработанной воды;

- два одинаковых флокулятора объемом примерно 38 м^3 , время пребывания воды в флокуляторах около 39мин (предложение 1);
- два одинаковых отстойника, 318 м^3 ; скорость осаждения хлопьев в отстойнике $0,5 \text{ м/ч}$ (приложение А). Время пребывания воды в отстойнике 288мин.(приложение Б);
- четыре одинаковых песчаных фильтра объемом 15 м^3 , высота песка в фильтрах составляет $1,8 \text{ м}$; $0,70 \text{ м}$; $0,39 \text{ м}$; $0,49 \text{ м}$. Максимальная скорость фильтрация $1,95 \text{ м/ч}$ (приложение А);
- четыре аэрационных камеры;
- два резервуара чистой воды объемом 30 м^3 и 400 м^3 , резервуары связаны между собой с помощью трубы $\varnothing 350 \text{ мм}$, они построены так, что резервуар объемом 400 м^3 заполняет перед резервуаром объемом 30 м^3 ;
- конический смеситель объемом 12 м^3 .

Фото береговой насосной станции находится в приложении В.

1.8 Реагенты и процесс очистки воды

В г. Димбокро используют исследующие реагенты на станции очистки воды:

- сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) используется в процессах коагуляции, флокуляции. Он образывает хлопья, удаляет цветение и мутность;
- гипохлорит кальция ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) или газообразный хлор (Cl_2) используется в двух стадиях обработки: предварительное хлорирование и обеззараживание. Стадия предварительного хлорирования ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) способствует флокуляции, коагуляции и удалению железа, марганца, аммиака. На второй стадии устраняются микробы;

- диоксид хлора (ClO_2) подобен по назначению гипохлориту кальция, но более эффективен. ClO_2 производится на месте (на станции очистки воды) из хлорированной воды и хлорита натрия;
- перманганат калия (KMnO_4) используется для удаления железа и марганца;
- известь (Ca(OH)_2) используется для нейтрализации воды ($\text{pH} = 6-8,5$). Иногда применяется для процесса флокуляции с целью получить оптимальную pH флокуляции;
- карбонат натрия (Na_2CO_3) он играет ту же роль, что и известь;
- Активированный уголь (АУ) применяется для устранения вкуса, запаха, цветения и органических загрязнителей (пестициды) с помощью процесса адсорбции.

Процесс обработки на станции очистки воды в городе Димбокро включает следующие этапы: удаление крупных веществ, предварительное окисление, осветление, нейтрализацию и обеззараживание.

- Удаление крупных веществ (минеральные и органические вещества) производится на береговой насосной станции. В этом сооружении погружены в воду два насоса, перед всасывающей ступенью установлены специальные решетки, которые задерживают значительную часть крупного мусора. Насосы транспортируют воду по чугунной трубе $\text{Ø}350\text{мм}$ на станцию очистки (в приемный резервуар необработанной воды).
- Предварительное окисление исходной воды до обработки происходит в приемном резервуаре с помощью перманганата калия (KMnO_4) и АУ.
- Процесс осветления воды происходит следующим образом: вода поступает в приемный резервуар необработанной воды, где добавляется сернокислый алюминий ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Затем вода поступает во флокуляторы, где происходит медленное смешивание с помощью мешалки для предотвращения разрушения образованных хлопьев; общее время

пребывания воды во флокуляторах около 39 мин. После флокуляторов вода подается в отстойники, где происходит осаждение образованных хлопьев. И, наконец, фильтрование воды происходит в песчаных фильтрах.

- Нейтрализация происходит после осветления, вода проходит через аэрационные камеры (воздушные камеры) для удаления диоксида углерода (CO_2), содержащегося в воде до тех пор, пока pH не снижается до 6,5-8,5. Нейтрализация осуществляется с помощью гашеной извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
- Обеззараживание воды происходит в резервуарах чистой воды с помощью гипохлорита кальция ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Из резервуаров чистой воды вода направляется в водонапорную башню по трубе Ø 350 мм.

1.9 Система водоотведения

23 деревни коммуны Димбокро не имеют системы водоотведения, водоотводной сети и сточных вод. Дождевая вода естественно накапливается на почве деревни. Бытовая вода выливается на улицы деревни. В некоторых домах есть туалеты с септическими ямами.

Имеется относительно хорошая дождевая канализационная и сточная канализационная сеть в центре города. Однако эти сети плохо сконструированы в районах реки Н'Жи, особенно в районах Диулакро (Dioulakro) и Сокураджан (Sokouradjan). Как правило, сети являются открытыми каналами вдоль основных дорог. Большинство сетей блокируются песком или мусором. Это вызывает наводнения в дождливые сезоны. Тем не менее, есть канал, который является основным сборщиком сточных вод городской тюрьмы, который непосредственно выводит сточные воды в реку без обработки. Несколько домохозяйств также подключены к этому каналу и выбрасывают свои необработанные сточные воды.

Авторы [43] показали, что индивидуальной канализацией пользуется очень большая часть населения. Она осуществляется в соответствии с различными процессами, в зависимости от состояния среды обитания. На уровне жилища чаще

всего выделяется способ удаление экскрементов: в современных жилых кварталах используют септики - 97,2%; в эволюционных жилых кварталах используют традиционные туалеты 51%. 52% жителей опорожняют туалеты вручную, а 48% используют услуги по механическому опорожнению.

Единственная станция очистки сточных вод расположена в районе Сите - Согефии («Cité Sogefiha») [43, 44] она обрабатывает менее 10% сточных вод населения г. Димбокро. К сожалению, эта установка очистки сточных вод не работает (рисунок 1.4), и муниципальные власти сбрасывают дождевую воду и сточные воды в реку, через открытые каналы. Это создает серьезные риски для здоровья населения и окружающей среды [43].



Рисунок 1.4- Станция очистки сточных вод [43]

1.10 Вывод по первой главе и постановка задач исследований

Эта глава позволила нам узнать некоторые аспекты жизнедеятельности населения коммуны Димбокро.

- Город Димбокро имеет один из крупнейших заводов по переработке ореха анакарда в Кот-д'Ивуаре, скорлупа которого является важной проблемой загрязнения окружающей природной среды.

- Рассматривая работы авторов [24, 31, 32] и опираясь на “Межафриканский комитет по гидравлическим исследованиям” («Comité Interafricain d’Étude Hydraulique», 1978), можно сказать, что расходы скважин коммуны Димбокро не классифицируют в категории “очень сильный расход”.
- В общем, физико-химические показатели вод реки Н’Зи и подземных вод в регионе Димбокро не представляют серьезной опасности для потребления человеком. Кроме того, относительно высокие уровни железа (2,5 мг/л) и марганца (0,9 мг/л), зарегистрированные в некоторых населенных пунктах, являются серьезной проблемой.

Таким образом, поставлен вопрос о возможности использования сельскохозяйственных отходов скорлупы ореха анакард (СОА) для получения активированного угля (АУ) в целях удаления железа и марганца из воды. Чтобы ответить на этот вопрос, следующая глава посвящена изучению процесса получения АУ.

Задачи исследований представляются следующие:

1. Исследование получения АУ из СОА по методу физической активации при различных температурах.
2. Исследование рабочих характеристик полученного АУ для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе.
3. Исследование применения порошкообразного и зернистого АУ для очистки хозяйственно - питьевых вод.
4. Исследование получения фильтрующего материала (ФМ) из СОА и его применение в сорбционном фильтре для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды.
5. Разработка рекомендаций по получению АУ из отходов СОА и применению в водоохраных технологиях.
6. Эколого-экономическая оценка применения полученного нового сорбента в водоохраных технологиях.

ГЛАВА 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОНЯТИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

2.1 Активированный уголь

Активированный уголь (АУ) – промышленный адсорбент или сорбент в виде порошка или зерен с развитой пористой структурой, который изготавливается из различных типа твердых материалов на основе углерода, которые могут иметь различное происхождение: растительные (древесина, фруктовые косточки или скорлупы ореха и. т. д.) или минеральное (каменные угли, кокс, торф и.т.д) [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53].

АУ применяется во многих областях: в медицинской промышленности и здравоохранении [46, 48, 54, 55], в пищевой промышленности [46, 47, 56], в химической промышленности [46, 47, 56, 57], в нефтегазопереработке и нефтехимии [46, 47, 56, 57, 58, 59, 60, 61], в металлургической промышленности [46, 47], в золотодобывающей промышленности для извлечения золота из рабочих растворов [62, 63], в производстве алкогольной и безалкогольной продукции [46], в очистке природных и сточных вод [46, 47, 48, 56, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86] и в очистке питьевой воды [46, 47, 48, 56, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96].

АУ используется для удаления тяжелых металлов - железа, марганца и других в процессах очистки питьевых и сточных вод [65, 66, 97, 98, 99]. В таблице 2.1 приводятся данные некоторых авторов, которые удаляли $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Fe^{2+} , Fe^{3+} и Mn^{2+} из воды с помощью АУ.

Таблица 2.1- Удаление $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Fe^{2+} , Fe^{3+} и Mn^{2+} из воды с помощью активированного угля

№	Литература	Название сорбента или АУ	Удаления тяжелых металлов			Эффективность удаления, %
			Питьевая вода	сточная вода	Модельный раствор	
1	[48]	АГ-3В	$\text{Fe}_{\text{общ}}$ Фильтры: «Коттедж», «Коттедж-2»; «Мечта», «Родник-8Н»	-	-	98
2	[65]	Адсорбент «Глинт»	-	-	-	99,95
3	[71]	ОКЦ	-	-	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	84
4	[100]	Сорбент	-	-	Fe^{3+}	35
5	[101]	Сорбент	-	-	Fe^{3+}	90,1
			-	-	Mn^{2+}	91,5
6	[102]	Необработанный уголь СПК	-	-	Fe^{3+}	49,32
7	[103]	Сорбент	-	-	Fe^{2+}	90,8
			-	-	Mn^{2+}	91,5
		Сорбент	-	-	Fe^{2+}	85,3
			-	-	Mn^{2+}	91,0
8	[104]	Сорбент	-	-	Fe^{3+}	≥ 80
9	[105]	-	Fe^{2+}	-	-	70, 29
10	[106]	АУ	-	-	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	71,97-87,13
	[95]	Сорбент	Fe^{2+} Mn^{2+}	-	-	80-90
11	[107]	Сорбент (доломит+гумат)	-	Ион железа	-	99,8
12	[108]	Сорбент	-	Fe^{3+}	-	83,60
13	[109]	Адсорбент «Глинт»	-	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	-	97,81
			-	Mn^{2+}	-	94,92
14	[110]	«Activated carbon»	-	Mn^{2+}	-	> 93

В 2013 году показали, что 30 % мирового производства АУ нашло свое применение в системах водоснабжения и водоотведения в виде порошковых и

гранулированных АУ [111]. В 2014 году [112] показали основные направления использования активных углей (таблица: 2.2).

Таблица 2.2- Основные направления использования активных углей [112].

№	Направление	Доля от общего объема пр-ва, %
1	Очистка питьевых и сточных вод	34
2	Очистка газовых выбросов	26
3	Пищевая промышленность (в том числе пр-во сахара, крахмала и патоки)	22
4	Химия и фармацевтика (в том числе пр-во синтетического каучука и катализаторов)	18
Итого		100

АУ является адсорбентом с хорошо развитой пористой структурой, которая дает ему возможность адсорбировать, т. е. фиксировать на своей поверхности многочисленные молекулы загрязнений. Эта пористость и его химическая поверхность позволяют адсорбировать разнообразные соединения загрязнений, особенно в жидкой или газообразной фазах [52].

2.2 Адсорбция и адсорбенты

Адсорбция определяется как физико-химическое явление, при котором адсорбат (молекула жидкости) захватывается на поверхности адсорбента (твердого вещества). Адсорбция жидкости твердым веществом может быть определена как явление фиксации жидкости на «поверхностях» твердых тел. Термин «поверхность» распространяется на всю поверхность твердого тела, геометрическую поверхность для непористого твердого зерна, к которому добавляется для пористого твердого тела внутренняя поверхность, образованная трещинами и порами, доступными для молекул. Твердое вещество, которое является местом этой адсорбции, называется адсорбентом. Жидкое соединение, которое адсорбируется, называется адсорбатом. Различают два вида адсорбции: физическую и химическую [46, 64, 113, 114, 115, 116, 117].

- **Физическая адсорбция**

Это обратимое явление, обусловленное главным образом силами Ван-дер-Ваальса и водородными связями между молекулами адсорбата и атомами поверхности адсорбента. Используемые энергии имеют порядок от 5 до 40 кДж на моль [118, 119].

- **Химическая адсорбция (хемосорбция)**

Химическая адсорбция (хемосорбция) - процесс химической реакции с образованием химических связей между молекулами адсорбата и адсорбентом поверхности. Она происходит с выделением энергии, находящейся в интервале от 40 до 400 кДж /моль [119, 120].

2.3 Изотермы адсорбции

Процесс адсорбции можно описать с использованием изотермы адсорбции. Изотерма адсорбции - кривая, которая представляет собой соотношение между количеством адсорбированного газа и относительным давлением при постоянной температуре.

Количество газа, которое поглощается пробой, зависит от температуры T , давления P и характера адсорбированного газа и твердого вещества:

$$V = f(P/P_0, T, \text{газ, твердое вещество}) \quad (2.1),$$

где: V -число адсорбированных молекул, или концентрация адсорбированного вещества на поверхности адсорбата; P -давление; P_0 - давление насыщенного пара адсорбата, или концентрация при температуре T ; P/P_0 - относительное давление; T - температура.

По виду изотермы адсорбции можно сделать вывод о площади поверхности, пористости адсорбирующего тела и характере взаимодействия между адсорбентом и адсорбатом. Согласно эмпирической классификации, предложенной Брунауэром и в принятой ИЮПАК (Международный союз чистой и прикладной химии), существует 5 основных типов (I-V) изотерм адсорбции (рис. 2.1). Классическая

систематизация Брунауэра, Эммета и Теллера (БЭТ) первоначально содержала только типы I-V; кроме них, в настоящее время принято включать форму изотерм (VI), предложенную Пирсом [46, 121].

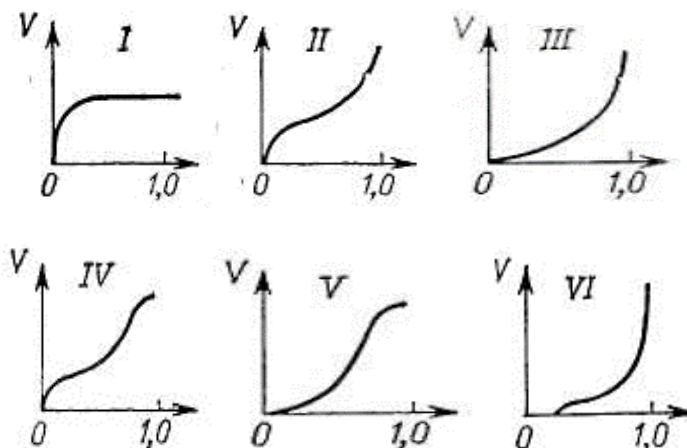


Рисунок 2.1 – Изотермы адсорбции по «IUPAC», V-адсорбированный объем [46, 121, 122]

Изотермы **I типа** присущи, в основном, микропористым образцам. На изотерме присутствует почти горизонтальное плато, которое может подходить к оси $p/p_0=1$ почти под прямым углом или иметь вблизи неё резкий подъём.

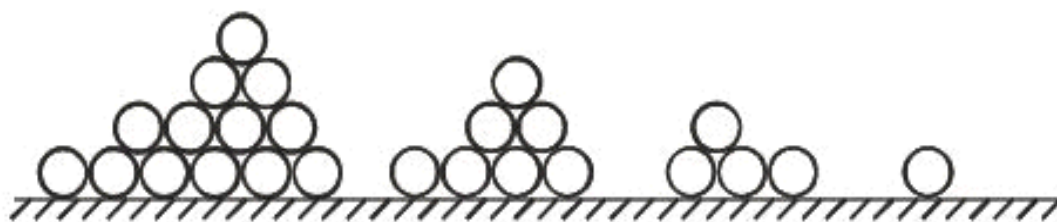
Ширина микропор не превышает нескольких диаметров молекулы, силовые поля соседних стенок пор перекрываются, и энергия взаимодействия твёрдого тела с молекулой газа возрастает. Подобного рода взаимодействия достаточно сильны, чтобы полное заполнение пор происходило при очень низком относительном давлении.

Изотермы типа II и III присущи непористым твёрдым телам или макропористым адсорбентам и показывают непрерывный переход от адсорбции монослоя к многослойной адсорбции и к капиллярной конденсации.

Характерный признак **изотермы IV типа** – наличие петли гистерезиса. Форма петли может быть различной для разных адсорбционных систем; однако, величина адсорбции при любом данном относительном давлении для

десорбционной ветви всегда больше, чем для адсорбционной. **IV** тип изотерм адсорбции характерен для мезопористых твёрдых тел. Изотермы типа **IV** могут возникать в результате образования двух последовательных слоев адсорбата на поверхности твердого тела, когда взаимодействия между молекулами адсорбата и поверхностью твердого тела сильнее, чем взаимодействия между адсорбированными молекулами. В этом случае сайты адсорбции второго слоя начинают заполняться только тогда, когда первый слой почти завершен. Наконец, изотермы **V** типа характерны для систем, в которых дисперсионное взаимодействие газ – твёрдое тело меньше взаимодействия молекул адсорбата друг с другом. Из-за слабого взаимодействия адсорбент – адсорбат поглощение газа при низких давлениях мало; однако, как скоро молекула оказывается адсорбированной, силы взаимодействия адсорбат – адсорбат стимулируют дальнейшую адсорбцию. Изотермы **V** типа наблюдаются при адсорбции на мезопористых и микропористых материалах [51, 123].

Важно отметить, что все эти пять типов изотерм адсорбции описываются в своей начальной части теорией многослойной адсорбции Брунауэра, Эмметта и Теллера (БЭТ). На рисунке 2.2 показана адсорбция по теории БЭТ. Эта теория будет рассмотрена ниже в разделе: «2.4.2. Удельная поверхность активированного угля».



Формирование адсорбционных слоев согласно теории БЭТ

Рисунок 2.2 – Схематическое распределение молекул в виде комплексов на поверхности адсорбента [119]

Изотермы типа VI проявляют характерные свойства многослойной адсорбции на непористых поверхностях очень однородных тел [124]. Авторы Грег и Синг выявили, что изотермы VI типа характерны для непористых адсорбентов с непористой поверхностью [119, 125].

Для активированных, микропористых углей характерен I тип изотерм адсорбции, однако они могут быть различного вида (рис. 2.3.). Изотерма типа (а) представляет собой адсорбцию на поверхности угля исключительно микропористой структуры с узким распределением пор (обычно молекулярные сита или $L < 0,8-1$ нм). Таким образом, как только микропоры заполнены, адсорбция прекращается. Изотерма типа (б) показывает адсорбцию угля с распределением микропор более неоднородным (гетерогенным), чем в типе (а). И, наконец, если АУ имеет большое распределение микропористости, и мезопористость хорошо развита, то изотерма будет описана по типу (с). Увеличение V , начиная с V_0 , соответствует многослойной адсорбции на наружной поверхности [124].

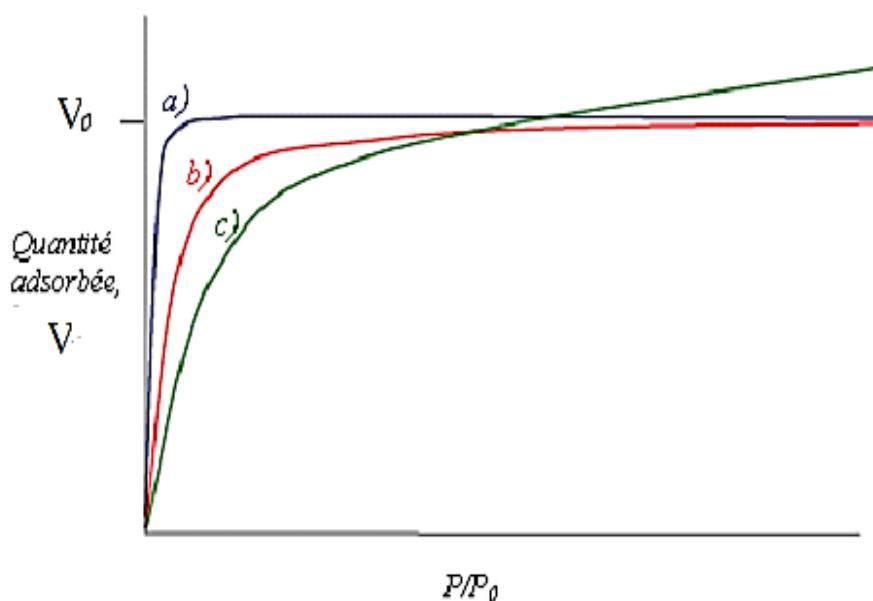


Рисунок 2.3 – Три типа изотермы адсорбции активированных углей [124, 126]

2.4 Характеристики активированного угля

Основными характеристиками АУ (сорбента) являются: элементный состав, рН, зольность, пористость, удельная поверхность, размер пор, поверхностные функции, рентгенофазовые характеристики.

2.4.1 Пористая структура активированного угля

Структура АУ характеризуется двумя основными параметрами: пористостью и величиной удельной поверхности, которая напрямую зависит от объема пор [122].

Схема структуры АУ показана на рисунке 2.4. Она состоит из графитовых слоев различных размеров и ориентаций, которые напоминают "комканные" листья бумаги (модель «комка мятой бумаги») [127].

Современная классификация пор по ИЮПАК включает следующие размеры: поры размером менее 2,0 нм – микропоры; от 2,0 до 50 нм – мезопоры; поры с диаметрами выше 50 нм – макропоры [46]. На рисунке 2.5 схематично представлены поры АУ.



Рисунок 2.4 – Схематическое представление структуры активированного угля [52, 127, 128]

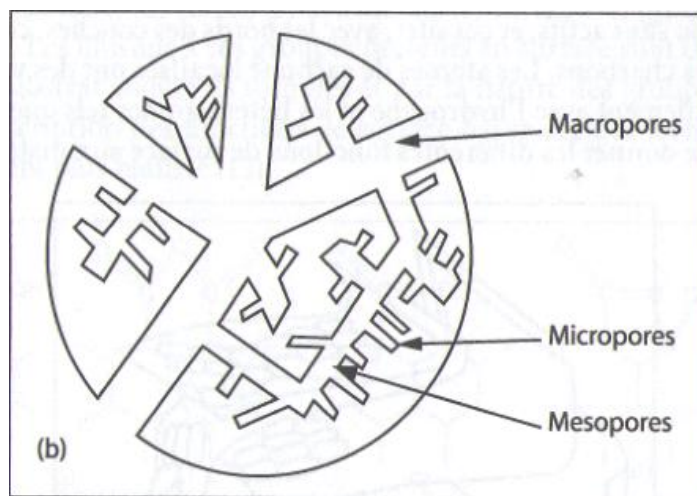


Рисунок 2.5 – Схематическое представление структуры пор активированного угля: макропор “(macropore)”; микропор “(micropores)”; мезопор “(mesopores)” [128]

Каждый тип пор играет особую роль в явлениях адсорбции [129, 130]. Макропоры функционируют как транспортные поры, позволяя молекулам достигать самых плотных пор внутри частиц, мезопоры служат проходом к микропорам [128, 129].

Стандартными методами определения объема пор и распределения пор по размерам являются: метод Дубинина-Радушкевича (ДР); метод Дубинина-Астахова (ДА); метод Хорвата - Кавазое (ХК) (метод Horvath-Kawazoe) и Саито-Фоллей (СФ) (Saito – Foley, SF); метод Анализа t (« t -plot»); метод Кельвина (Закон Кельвина), метод Баррета, Джойнера и Халенды (БДХ) (Метод «Barrett, Joyner и Halenda» (BJH)).

- **Метод Дубинина-Радушкевича (ДР)**

В литературе [47] указано, что в 1947 г. Дубинин и Радушкевич предложили теорию адсорбции на АУ. Из этой теории следует, что изотермы адсорбции на микропористых материалах для разных адсорбатов подобны. Данное положение лежит в основе общего уравнения теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ), выведенного, исходя из уравнения Гаусса о распределении степени заполнения микропор по дифференциальной мольной работе адсорбции $-A$,

характеризующей и размер микропор. Это уравнение, известное как уравнения ДР имеет следующий вид:

$$V = V_0 \exp \left[- \left(\frac{A}{\beta * E_0} \right)^2 \right] \quad (2.2),$$

где V - текущая величина адсорбции, выраженная через объем жидкости, см³/г; V_0 - предельный объем адсорбционного пространства, см³/г; β – коэффициент подобия, выражающий отношение характеристических энергий адсорбции стандартного и рассматриваемого паров (обычно бензола, для которого $\beta = 1$); E_0 – характеристическая энергия адсорбции стандартного пара.

Для микропористых сорбентов с широким распределением пор изотермы адсорбции паров хорошо аппроксимируются двучленным уравнением ДР, характеризующим две однородные микропористые структуры с параметрами соответственно V_{01} и E_{01} и V_{02} и E_{02} :

$$V = V_{01} \exp \left[- (A / E_{01})^2 \right] + V_{02} \exp \left[- (A / E_{02})^2 \right] \quad (2.3),$$

где: V_{01} – предельный объём адсорбционного пространства микропор; E_{01} – характеристическая энергия адсорбции в микропорах стандартного пара; V_{02} и E_{02} – объём супермикропор и характеристическая энергия, соответственно.

- **Метод Дубинина-Астахова**

Для обобщения уравнения ДР (2.2), был введен показатель степени « n », влияющий на распределение пор по размерам. Это уравнение называется уравнением Дубинина-Астахова [47]:

$$V = V_0 \exp \left[- \left(\frac{A}{\beta * E_0} \right)^n \right] \quad (2.4),$$

Степень « n » показывает на неоднородность твердого вещества. Чем n выше, тем более однородна твердая структура. В случае активированных углей, « n » находится в пределах от 1,5 до 3. Значение $n = 2$ является наиболее распространенным (ДР), для цеолитов принимается $n = 3 - 5$ [124].

- **Метод Хорвата - Кавазое (Horvath-Kawazoe)**

Метод Хорвата - Кавазое («Horvath-Kawazoe») [121, 131, 132, 133, 134] позволяет производить расчеты распределения микропор по размерам по области низких давлений на изотерме. Этот метод выражает зависимость потенциала адсорбции щелевидных пор от ширины пор по уравнению:

$$RT \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = N_A \frac{N_s A_s + N_a A_a}{\alpha^4 (l-d)} * f_{HK}(\sigma, l, d) \quad (2.5),$$

$$\text{Где } f_{HK}(\sigma, l, d) = \frac{\sigma^4}{3(l-d/2)^2} - \frac{\sigma^{10}}{9(l-d/2)^9} - \frac{\sigma^4}{3(d/2)^3} + \frac{\sigma^{10}}{9(d/2)^9} \quad (2.6),$$

Параметры σ , A_s и A_a можно вычислить с помощью следующих уравнений:

$$\sigma = 0,858 * d / 2 \quad (2.7),$$

$$A_s = \frac{6 * m * c^2 * \alpha_s * \alpha_a}{\alpha_s / \chi_s + \alpha_a / \chi_a} \quad (2.8),$$

$$A_a = \frac{3 * m * c^2 * \alpha_s * \chi_a}{2} \quad (2.9),$$

где: N_A - число Авогадро; N_a - число молекул на единице поверхности адсорбата; N_s -число атомов на единице поверхности адсорбента; m -масса электрона; c - скорость света; α_s - поляризационная способность адсорбента; α_a - поляризационная способность адсорбата; χ_s -магнитная восприимчивость адсорбента; χ_a - магнитная восприимчивость адсорбата; $l-d_s$ - эффективная ширина поры; l - расстояние между двумя слоями адсорбента; d_s - диаметр молекулы адсорбента; $d=d_s+d_a$, d_a - диаметр молекулы адсорбата.

- **Метод анализа t (“t-plot”)**

В работе [124] автор пишет, что Липпенс де Бур и его коллеги разработали новый метод обсчета изотерм адсорбции для получения без сложных расчетов площади поверхности твердых веществ и информации о виде и среднем размере радиуса пор. Этот метод позволяет провести детальный анализ микропор в дополнение к измерению макропор и мезопор. Он состоит в построении изотермы

адсорбции адсорбированного газа (t : толщина адсорбированного слоя). Выполняя экстраполяцию второго линейного участка, полученного при значении $t = 0$, можно вычислить объем микропор. График строится в зависимости от объема поглощенного вещества и « t » по уравнению [124]:

$$V = \frac{V_m}{\delta} * t = b_t * t \quad (2.10),$$

где: V - объем адсорбированного газа при НТД, моль/г при давлении; V_m - объем адсорбированного газа при НТД, необходимый для покрытия поверхности монослоя; δ - молекулярная толщина монослой газа (статистическая толщины); толщина монослоя адсорбированного азота при 77К - $\delta = 3,54 \text{ \AA}$ [135]; b_t - наклон кривой.

Для твердого, не пористого тела кривая « t » имеет вид прямой, проходящей через начало координат.

Значение толщины « t » адсорбированного слоя может влиять на характер твердых тел, рассмотренных независимо от относительного давления P/P_0 .

На основе своих экспериментов, они выявили уникальные соотношения между толщиной слоя адсорбированного « t » и относительного давления P/P_0 , которые действительны для различных твердых непористых веществ. Эти экспериментальные соотношения можно вывести в аналитическом виде следующим образом:

$$\log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) = -\frac{16,11}{t^2} + 0,1682 * \exp(-0,1137 * t) \quad (2.11),$$

Если подставить в уравнение (2.12) значение толщины монослоя $\delta = 3,54 \text{ \AA}$, то применив уравнение (2.13), можно записать:

$$\log \left(\frac{P}{P_0} \right) = F(t) = F \left(\frac{3,54 * V}{V_m} \right) \quad (2.12),$$

Это выражение связывает объем адсорбированного вещества V и относительное давление P/P_0 . В случае применения этого уравнения для многих твердых не пористых веществ, оно называется «изотермический стандарт».

- **Метод Кельвина (Закон Кельвина)**

Метод Кельвина рассматривает капиллярную конденсацию. Распределение размеров пор мезопористого твердого вещества можно рассчитать через изотермы десорбции пара с использованием уравнения Кельвина [119]:

$$P = P_0 \exp\left(\frac{-2 * \sigma_{ПМ} * V_m}{RT r}\right) \quad (2.13),$$

где: $P_0 = P_{0,n}$ - равновесное давление пара над плоской поверхностью жидкости при температуре Т. Здесь знак (-) относится к фазам с вогнутой поверхностью (вогнутый мениск).

Его часто записывают в виде:

$$\ln \frac{P_{r,П}}{P_{0,П}} = \frac{2 * \sigma_{ПЖ} * V_m}{RT r} \quad (2.14),$$

где: $\frac{P_{r,П}}{P_{0,П}}$ - относительное давление пара, находящегося в равновесии с мениском, имеющим радиус кривизны r ; σ и V_m - поверхностное натяжение и молярный объем жидкого адсорбтива соответственно; (индексы «п» и «ж» относятся, соответственно, к пару и жидкости, индекс «r» - к искривленной и индекс «0» - к плоской границе раздела).

Расчет размеров мезопор производится с помощью уравнения Кельвина для пор цилиндрического вида:

$$r = \frac{-2 * \sigma_{ПЖ} * V_m}{RT \ln(P_{r,П} / P_{0,П})} \quad (2.15),$$

Численные значения параметров в уравнении: $\sigma_{ПЖ}$ - поверхностное натяжение азота в точке кипения ($8.85 \cdot 10^7$ Дж/см³ при 77К); V - молярный объем жидкого азота (34.7 см³/моль); Т- температура кипения азота (77 К); $P_{r,П} / P_{0,П}$ - относительное давление азота; r -радиус пор по Кельвину.

Понятие капиллярной конденсации и ее количественных выражений в уравнении Кельвина является основой всех процедур, используемых для расчета распределения размера пор [124, 136].

- **Метод Баррета, Джойнера и Халенды (БДХ) (Метод «Barrett, Joyner и Halenda» (BJH)).**

Авторы [137] предложили следующий алгоритм для распределения пор по размерам пористости по методу BJH.

Если начальное относительное давление (P/P_0) близко к 1, все поры заполнены жидкостью. В самых крупных порах радиуса r_{p1} присутствует физически адсорбированный слой молекул азота толщиной t_1 . Внутри этого слоя имеются капиллярные каналы радиуса r_m , через которые, при снижении P/P_0 происходит испарение. Соотношение между объемом пор V_{p1} и объемом внутренних капилляров V_m (по Кельвину) представляется уравнением:

$$V_{p1} = \frac{V_{m1} * r_{p1}^2}{r_{m1}^2} \quad (2.16),$$

При снижении относительного давления с $(P/P_0)_1$ до $(P/P_0)_2$ с поверхности десорбируется объем V_1 . Этот объем жидкости составляет не только ту жидкость, которая заполняла самые крупные поры, но также и некоторое количество жидкости за счет снижения толщины физически адсорбированного слоя на величину Δt_1 . За счет такого уменьшения относительного давления изменение толщины слоя составляет, в среднем $\Delta t_1/2$. Объем самых крупных пор можно выразить как:

$$V_{p1} = V_1 * \left(\frac{r_{p1}}{r_{m1} + \frac{\Delta t_1}{2}} \right)^2 \quad (2.17),$$

При последующем снижении относительного давления до (P/P_0) объем десорбированной жидкости составит из жидкости, заполнявшей поры следующего (менее крупного) размера, и жидкости, образовавшейся за счет

дальнейшего снижения толщины физически адсорбированного слоя из самых крупных пор. Этот объем жидкости можно выразить:

$$V_{p2} = \left(\frac{r_{p^2}}{r_{m^2} + \frac{\Delta t_2}{2}} \right)^2 * (V_2 - V_{\Delta t2}) \quad (2.18),$$

$$\text{Где } V_{\Delta t2} = \Delta t_2 * A_{c1} \quad (2.19),$$

где A_{c1} – это площадь уже опорожненных пор, из которых физически адсорбированный газ десорбировался.

Уравнение (2.19) можно обобщить для любой последующей стадии десорбции:

$$V_{\Delta tn} = \Delta t_n * \sum_{j=1}^{n-1} A_{cj} \quad (2.20),$$

Сумма в уравнении (2.20) – это суммарная средняя площадь опорожнившихся за счет десорбции пор. Подстановка общего значения в $V_{\Delta tn}$ уравнение (2.18) позволяет произвести расчет объема пор при различных относительных давлениях.

$$V_{pn} = \left(\frac{r_{pn}}{r_{Kn} + \frac{\Delta t_n}{2}} \right)^2 * (\Delta V_n - \Delta t_n \sum_{j=1}^{n-1} A_{cj}) \quad (2.21),$$

Поскольку площадь A_c для любого размера пор не является постоянной величиной, а изменяется с каждым уменьшением P/P_0 , ее следует оценить. Площадь каждой поры A_p – величина постоянная и ее можно рассчитать из объема поры, если принять за основу цилиндрическую геометрию пор.

$$A_p = \frac{2 * V_p}{r_p} \quad (2.22),$$

Теперь, поскольку для каждого шага процесса десорбции известно значение A_p , площадь пор можно суммировать. Метод ВЈН рассчитывает $\sum A_{cj}$ для каждого шага изменения давления следующим образом: предполагается, что все поры,

освободившиеся от конденсата при снижении относительного давления, имеют средний радиус $\bar{r}$, рассчитанный из полученных по уравнению Кельвина (2.15) наибольшего и наименьшего значений радиусов на шаг снижения P/P_0 . Средний радиус капилляров рассчитывается как:

$$\bar{r}_c = \bar{r}_p - t_r \quad (2.23),$$

где t_r - это адсорбированного слоя для пор среднего радиуса для данного шага снижения относительного давления и рассчитывается из уравнения (2.24). Значение “с” в уравнении (2.20) определяются из формулы:

$$c = \frac{\bar{r}_c}{\bar{r}_p} = \frac{\bar{r}_p - t_r}{\bar{r}_p} \quad (2.24),$$

Уравнение (2.21) теперь можно использовать совместно с уравнением (2.24) для наилучшего расчета распределения пор по размерам.

2.4.2 Удельная поверхность активированного угля

Удельная поверхность ($S_{БЭТ}$) это усредненная характеристика размеров внешних и внутренних полостей (каналов, пор) пористого тела. Её выражают отношением общей площади поверхности пористого тела, доступного для атомов и молекул к его массе ($\text{м}^2/\text{г}$). В литературе показано, что некоторые АУ или сорбенты, используемые для очистки воды, имеют следующая удельную площадь поверхности: С-10, $40\text{м}^2/\text{г}$ [65]; ОКЦ, $102\text{ м}^2/\text{г}$ [71]; ОУ-А, $138\text{м}^2/\text{г}$ [70]; БАУ, $50\text{-}60\text{м}^2/\text{г}$ [79]; СКО, $68\pm3 - 70\pm2\text{ м}^2/\text{г}$ [90]; ОГА-2, $40\text{м}^2/\text{г}$ [129]; ОДК, $85\text{м}^2/\text{г}$ [129]; $248\text{ м}^2/\text{г}$ [138] ; $155,91\text{-}302,07\text{м}^2/\text{г}$ [142].

Для определения площади удельной поверхности можно использовать следующие методы: метод Гаркинса-Юра, метод Грегга, метод Киселева, метод Браунер, Эммет и Теллер (БЭТ)

- **Метод Гаркинса-Юра**

В литературе [119] указывается, что это метод измерения удельной поверхности по теплотам смачивания. Предполагается, что поведение адсорбционных слоев на поверхности твердых тел аналогично поведению адсорбционных пленок поверхностно активного вещества (ПАВ) на поверхности жидкости, описываемого адсорбционным уравнением Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{a}{RT} \left(\frac{d\sigma}{da} \right)_{p,T} \text{ или } \Gamma \cong -\frac{c}{RT} \left(\frac{d\sigma}{dc} \right)_{c,T} \quad (2.25),$$

Величину Γ рассчитывают по уравнению (2.25), исходя из экспериментальной изотермы поверхностного натяжения $\sigma = f(a)$ или в менее строгой форме $\sigma = f(c)$, предварительно определяя величины поверхностной активности $d\sigma/da$ или $d\sigma/dc$ (например, графически); где a - активность, c - молярная концентрация, $\gamma = \frac{a}{c}$ - коэффициент активности.

Уравнение Гиббса (2.25) для случая адсорбции паров с давлением p и поверхностным натяжением σ имеет следующий вид:

$$\Gamma = \frac{V}{Sv} = -\frac{P}{RT} \left(\frac{d\sigma}{dP} \right)_{p,T} \quad (2.26),$$

где V - объем адсорбированного газа, приведенный к нормальным условиям; v - нормальный молярный объем (22,4 л); S - площадь поверхности адсорбента.

Исходя из уравнения состояния, связывающего изменение σ с изменением поверхностной концентрации $\frac{V}{Sv}$, т.е. с изменением объема адсорбированного газа V :

$$\pi' = b_1 - b_2 \omega_0 \quad (2.27),$$

где: π' - давление, в точности соответствующее изменению поверхностного натяжения σ на границе фаз $d\pi' = d(\sigma_0 - \sigma)$; b_1 и b_2 - константы; ω_0 - средняя площадь, приходящаяся на одну молекулу (величина, обратная поверхностной концентрации Γ).

После дифференцирования (2.27), подстановки в (2.26) с последующим интегрированием полученного выражения, приходим к уравнению Гаркинса - Юра

$$\ln P = -\frac{B_2 S^2 V^2}{2RTV^2} + \text{const} \quad (2.28), \text{ или в относительных давлениях } x = \frac{P}{P_0}$$

$$\ln x = B - \frac{A}{V^2} \quad (2.29),$$

где: V -величина адсорбции, $\text{см}^3/\text{г}$, при нормальных давлениях и температуре; P и P_0 - равновесное давление пара и давление насыщенного пара, мм рт. ст.; B - константа интегрирования; A - константа, пропорциональная S^2 .

$$A = -\frac{\alpha^* S^2}{2,303 * 2RT} = kS^2 \quad (2.30),$$

Из уравнения изотермы адсорбции (2.29) следует, что логарифм относительного давления изменяется линейно с $1/V^2$, и тангенс угла наклона этой прямой (отрицательный) A пропорционален квадрату площади поверхности адсорбента (2.30).

При взятой V в расчете на 1 г адсорбента величина A будет пропорциональна квадрату удельной поверхности $S_{уд}$. Величину удельной поверхности находят по известному коэффициенту пропорциональности k между тангенсом угла наклона A и квадратом величины удельной поверхности. Коэффициент k определяют измерением изотерм адсорбции на адсорбенте с известной поверхностью (относительный метод) или путем определения теплот смачивания образца (абсолютный метод).

Метод позволяет совершенно строго определить поверхность непористых адсорбентов или внешнюю поверхность - для пористых. Эксперимент ведут следующим образом: адсорбент, предварительно насыщенный парами адсорбата (например, H_2O), погружают в жидкий адсорбат в калориметре. То есть на поверхности частиц исследуемого порошка предварительно адсорбируется пленка жидкости при выдержке его в насыщенном паре этой жидкости. При этом поверхность адсорбента покрывается, по крайней мере, несколькими слоями

адсорбированного пара. Подготовленный таким образом адсорбент погружают в жидкость той же самой химической природы и измеряют теплоту смачивания $Q_{см}$, которая выделяется в результате замены поверхности раздела адсорбционная пленка-пар на поверхность раздела адсорбционная пленка-жидкость. По изменению теплоты смачивания $\Delta Q_{см}$, (на 1 г адсорбента), находят удельную поверхность

$$S_{уд} = \frac{\Delta Q_{см}}{q_{ж/г}} \quad (2.31),$$

где $q_{ж/г}$ - удельная поверхностная энергия.

Для H_2O (при $20^\circ C$) $q_{ж/г} = 11,85 \text{ мкДж/см}^2$. Метод требует прецизионных измерений $\Delta Q_{см}$. Современные дифференциальные калориметры позволяют без особых трудностей выполнять такой эксперимент.

- **Метод Грегга**

Авторы [119] предложили этот метод, теоретически схожий с методом Гаркинса и Юра и основанный на изучении свойств адсорбционных пленок. Сделано допущение о зависимости произведения поверхностного давления (π') адсорбционных пленок на величину площадки (ω_0), занимаемой молекулой в конденсированном слое, от значения $\pi' S_{уд}$, где $S_{уд}$ - удельная поверхность. Оба эти произведения могут быть определены из изотерм адсорбции с помощью уравнения адсорбции Гиббса

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \left(\frac{d\pi'}{d \ln P} \right)_{P,T} \quad (2.32), \text{ после интегрирования: } \pi' = RT \int_0^P \Gamma \ln P \quad (2.33),$$

где: $\Gamma = n / N_A S_{уд}$ - количество адсорбированного вещества, моль/см²; P - равновесное давление газа; n - число адсорбированных молекул вещества.

Отсюда:

$$\pi' = kT \int_0^P \frac{n}{S_{уд}} \ln P \quad (2.34),$$

Величина "посадочной площадки", приходящейся на одну молекулу,

$$\omega_0 = S_{y0} / n, \text{ т.е. } \pi' \omega_0 = \pi' S_{y0} / n.$$

Делая допущение, что при низких P величина адсорбции пропорциональна давлению (идеальный газ), интегрирование (2.34) сводится к $n = kP$, при этом

$$\frac{\pi' S_{y0}}{n} = k_B * T \text{ или } \pi' \omega_0 = k * T \quad (2.35).$$

То есть принимается, что в области давлений, соответствующей области идеального двумерного газа, величина $\pi' \omega_0$ не зависит от $\pi' S_{y0}$ и с ростом степени заполнения линейно возрастает, отсекающий на оси ординат отрезок, по величине очень близкий к значению $k_B T$.

Поэтому S_{y0} определяется по тангенсу угла наклона зависимости $\pi' \omega_0$ $\pi' S_{y0}$. Зная величину посадочной площадки молекулы ω_0 , легко рассчитать удельную поверхность.

Метод Грегга применяется в основном для АУ и схожих с ним адсорбентов с тонкой структурой пор, однако, учитывая допущения, сделанные при выводе уравнения, можно предположить, что достоверность результатов, метода, невысока. Хотя при применении его к изучению изотерм низкотемпературной адсорбции азота результаты могут быть весьма близки к данным, полученным по методу Гаркинса- Юра [69].

- **Метод Киселева**

Метод определения удельной поверхности пористых тел по Киселеву основан на строгой термодинамической теории капиллярной конденсации пара на поверхности любой формы. Автор получил общее уравнение для конденсации пара на искривленной поверхности адсорбционной пленки и вывел формулу расчета ее величины. В основу вывода положено условие равновесия гетерогенной системы, состоящей из двух объемных α - и β - фаз и поверхностного слоя, при постоянстве температуры и объема системы.

Общее термодинамическое уравнение, характеризующее условие равновесия изохорно-изотермической системы

$$p^{\alpha} * dV^{\alpha} - p^{\beta} * dV^{\beta} + \sigma * ds = 0, \quad (2.36)$$

где p^{α} и p^{β} - гидростатическое давление в фазах, имеющих объемы V^{α} и V^{β} ; σ - поверхностное натяжение на границе пленка-пар; s - поверхность раздела между объемными фазами α и β .

Для неизменного объема системы $dV^{\alpha} = -dV^{\beta}$ из(2.36)

$$\sigma * ds = -Ada \quad (2.37),$$

где: $A = RT \ln(P_0 / P)$ - дифференциальная молярная работа адсорбции пара; a - количество адсорбированного вещества.

Для пористых адсорбентов размер поверхности $S_{y\partial}$, на которой происходит капиллярная конденсация, находят путем интегрирования в уравнение (2.38). При этом в качестве нижнего предела интегрирования берется величина сорбции, отвечающая началу капиллярной конденсации-гистерезиса (a_h), а в качестве верхнего - предельное значение сорбции a_s , соответствующее полному заполнению пор. При этом допускается, что величина внешней поверхности ничтожно мала по сравнению с внутренней поверхностью адсорбента

$$S_{y\partial} = \frac{RT}{\sigma} \int_{a_h}^{a_s} \ln(P_0 / P) \quad (2.38),$$

Интеграл находят графическим путем по всей области капиллярной конденсации, используя данные десорбционной ветви изотермы.

Определение величины $S_{y\partial}$ исключает ошибки, вносимые при оценке емкости мономолекулярного слоя (a_m) и площадки, занимаемой в нем молекулой адсорбированного вещества (ω_0). Погрешность может быть связана с точностью определения нижнего предела интегрирования и с допущением равенства поверхностного натяжения на границе пленка - пар и обычной жидкости.

Уравнение (2.38) дает достаточно высокую точность определения удельной поверхности крупнопористых адсорбентов, но дает заниженные результаты поверхностей в случае тонкопористых адсорбентов, поры которых объемно заполняются до начала капиллярной конденсации. Однако, если использовать

эталонный образец сравнения с известной удельной поверхностью (метод сравнения), то для сходных по форме изотерм адсорбции легко сделать соответствующую поправку на величину S_{y0} [119, 125, 143].

- **Метод Браунер, Эммет и Теллер (БЭТ)**

Уравнение БЭТ для адсорбции инертного газа (азот, аргон) на твердом теле позволяет довольно точно определить удельную поверхность и основано на кинетической модели адсорбционного процесса [144, 149]. Несмотря на существенные допущения, этот метод до сих пор является наиболее часто используемым при определении величины $S_{БЭТ}$. Эта теория была предложена Лэнгмюром (1918 г.). Уравнение полимолекулярной адсорбции в линейной форме имеет следующий вид :

$$\frac{P/P_0}{a^*(P_0 - P/P_0)} = \frac{1}{a_m * C} + \frac{C-1}{a_m * C} * \frac{P}{P_0} \quad (2.39),$$

где a - равновесное значение адсорбции при относительном давлении P/P_0 (P -равновесное давление, P_0 давление насыщенного пара при температуре опыта); a_m - адсорбционная емкость монослоя; C - константа, зависящая от теплоты адсорбента и температуры опыта.

Экспериментальные данные, выраженные в виде функции величины $\frac{P/P_0}{a^*(P_0 - P/P_0)}$ от $\frac{P}{P_0}$, обычно укладываются на прямую линию в интервале относительных давлений 0,05-0,35, соответствующих заполнению поверхности $\theta = 0,5-1,2$. Относительное давление, при котором заполняется монослой, зависит от величины константы C и определяется критерием Майера

$$\left(\frac{P}{P_0} \right)_{a_m} = \frac{1}{1 + \sqrt{C}} \quad (2.40),$$

Для систем, характеризующихся высокими значениями C , область линейности смещается в сторону более низких значений P/P_0 и заполнение статистического монослоя часто заканчивается до относительного давления 0,1.

Из наклона прямой и отрезка, отсекаемого ею на оси ординат, вычисляются обе константы C и a_m . Определенная таким образом емкость монослоя a_m (на единицу веса адсорбента) дает возможность вычислить удельную поверхность образца:

$$S = a_m * N_0 * \omega_m \quad (2.41),$$

где N_0 - число Авогадро, ω_m - площадь, занимаемая молекулой адсорбата в монослое.

2.4.3 Поверхностные функции активированного угля

АУ имеет большое количество углерода, также АУ может содержать незначительное количество серы (S), кислорода (O), хлора (Cl), водорода (H), фосфора (P). Эти элементы могут быть получены от предшественника, катализатора окисления или последующей процедуры и остаются в химической структуре материала. Например, можно встретить 30% мольных водорода или 15 % мольных кислорода. Эти атомы являются составом функциональных групп, расположенных на концах единиц полиароматических углеводородов, составляющих активированный уголь. Эти функциональные группы определяют химические свойства поверхности активированного угля и влияют на сродство к процессу поглощения. В целом, существуют большинство групп кислоты, которые преобладают на поверхности пор, такие как функциональные группы карбоновой кислоты, лактона и фенола [145].

Примеры поверхностных кислородных группировок показаны на рисунке 2.6 [53]. Многие исследования были посвящены характеристике поверхностей этих функциональных групп. Одним из самых популярных является метод Бем (Boehm). Метод Бема (Boehm) заключается в нейтрализации различных кислородсодержащих групп. Таким образом, Бем показывает, что при данном значении pH, карбоксильные группы могут быть нейтрализованы с помощью бикарбоната натрия (NaHCO_3). Другие функции кислоты (лактон и фенол), будут

проанализированы с помощью оснований, карбоната натрия (Na_2CO_3), гидрокарбоната натрия (NaHCO_3) и гидроксида натрия (NaOH). Функции и основные анализируют в соответствии с тем же принципом, но с соляной кислотой [145].

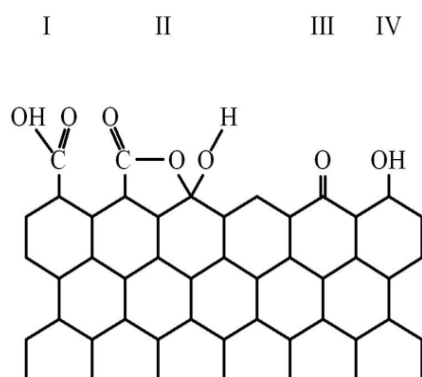


Рисунок 2.6 –функциональные группы на поверхности углей: I– карбоксильные; II – лактонные; III – карбонильные; IV – фенольные [53].

2.4.4 Рентгенофазовый анализ (РФА)

Методом РФА возможно исследовать различные кристаллические структуры, определить фазовый состав, размеры кристаллитов (при определенных условиях).

Принцип метода: метод основан на дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке, представляющей из себя совокупность различных кристаллографических плоскостей. Дифракция рентгеновских лучей от кристалла подчиняется закону Вульфа- Брэгга [146, 147, 148, 149]:

$$\lambda n = 2d(hkl) \sin \theta \quad (2.42),$$

где: λ -длина волны рентгеновского излучения ($1,5406 \text{ \AA}$); θ - угол отражения (радианы); $d(hkl)$ - межплоскостное расстояние; n-порядок отражения.

По методике порошковой дифрактометрии мелко измельченный монодисперсный порошок закладывают в кювету и проводят съемку материала в медном ($1,5406 \text{ \AA}$) излучении. Запись дифракционной картины производили в интервале углов $10\text{-}80$ градусов 2θ .

2.4.5 Элементарный анализ активированного угля

Элементарный анализ позволяет определить не только количество углерода, присутствующего в АУ, но и другие химические элементы в АУ. В общем, количество углерода (С) более 70%. В таблице 2. 4 показан химический элемент АУ некоторых авторов: АУ из ореха для очистки сточных вод [125]; АУ из отходов кофе для адсорбции органических красителей (красный нилотан и метиленовый синий) [129]; АУ для очистки воды [99]; АУ из отходов оливы для очистки хрома из воды [150].

Таблица 2. 4 - Химический элемент активированного угля некоторых авторов

Литература	Элементный анализ активированного угля, %					
	С	Н	N	О	P	S
[125]	78,96- 89,48	0,88-1,55	1,78-2,64	6,80-12,30	-	0,1-0,61
[129]	68,75-75,85	3,03- 3,29	2,36- 2,03	13,49 -20,68	1- 1,47	< 0,20
[99]	71,08	2,46	0,00	-	-	-
[150]	91,52	9,437	1,314	-	-	13,40

2.4.6 Концентрация водородных ионов (рН) активированного угля

рН АУ может быть кислой, нейтральной или основной. В общем, чтобы определить значения рН по ГОСТ 17818.6-90 [139], добавляют количество АУ в объеме дистиллированной воды. Раствор перемешивают в течение определенного времени. Затем раствор фильтруют и анализируют, используя рН-метр .

2.4.7 Зольность активированного угля

Зольность АУ является очень важным параметром, она характеризует эффективность угля. Чем ниже зольность, тем больше эффективность угля. Требования по ГОСТу зольности к АУ зависят от марки АУ. Например, марка БАУ (ГОСТ 6217-74) [140] , не более 6%; марка ОУ-А (ГОСТ 4453-74) [141] не более 10%.

2.5 Методы получения активированного угля

Обычно, процесс получения АУ включает подготовку исходного материала, его карбонизацию или пиролиз, активацию.

2.5.1 Подготовка исходного материала

Подготовка исходного материала включает в себя отмывку для удаления примесей и пыли, измельчение для получения небольшой фракции, рассев на фракции.

2.5.2 Карбонизация или пиролиз

Карбонизация - это термическое разрушение исходного материала при отсутствии кислорода для создания первичной пористой структуры и прочностных свойств продукта, которые подвергаются последующей активации [129]. При получении АУ проводят карбонизацию или пиролиз при температуре 500-1000 °С [72, 151, 152, 153, 154]. Цель карбонизации предназначена для создания первичных пористых структур, которые будут разработаны в будущем в процессе активации.

2.5.3 Активация

После стадии карбонизации материал является только слабо пористым. Чтобы разработать его пористую структуру и сделать поверхность материала более активной, он должен пройти еще одну термообработку, которая называется активацией. Этап активации позволяет создать пористую микроструктуру и повысить доступность структуры [51, 155].

Существует 3 метода активации: парогазовая активация (физическая активация), химическая активация, смешанная активация [48, 58, 156].

- **Физическая активация или парогазовая активация**

Физическая активация позволяет, благодаря действию газообразных реагентов (кислород -O₂, воздух, углекислый газ -CO₂, водяной пар- H₂O) при высокой температуре, развивать микропористую структуру, удаляя остатки карбонизации, содержащиеся в микропорах. Ее проводят при температуре от 650 до 900 °С [46,

155, 160, 161, 162] или от 800 до 1000 °С [46, 151, 157, 158, 159] в инертной атмосфере с окислителями, такими как водяной пар, CO₂, воздух или смесь газов [46, 50, 53, 121].

- **Химическая активация**

Химическая активация включает в себя пропитку исходного материала концентрированными следующими агентами: фосфорная кислота (H₃PO₄), азотная кислота (HNO₃), хлороводород (HCl), серная кислота (H₂SO₄), гидроксид калия (KOH), гидроксид натрия (NaOH), хлорид кальция (CaCl₂) хлорид цинка (ZnCl₂), карбонат натрия (Na₂CO₃) карбонат калия (K₂CO₃), сульфид калия (K₂S), сульфат калия (K₂SO₄), гидроортофосфат кальция (CaHPO₄). Эти агенты добавляются в больших количествах, а затем удаляются промывкой. Затем материал подвергают пиролизу при температуре от 400 до 800 ° С, промывают и сушат. Таким образом, АУ получают за одну стадию. Химическая активация проводится одновременно с карбонизацией после пропитки материала химическим агентом [46, 56, 112, 121, 124].

- **Смешанная активация**

Смешанная активация - это сочетание метода химической и физической активации, то есть когда уголь после метода химической активации можно еще дополнительно обрабатывать по методу физической активации [55], чтобы увеличить его пористость. Этот метод предполагает введение в углеродсодержащее сырье неорганических (химических) реагентов, карбонизацию результирующей пропиткой при температуре 450-750 °С и парогазовую активацию карбонизованного материала. Этот метод позволяет разредить пористую структуру (особенно объем мезо - и микропор) АУ [48].

2.6 Влияние некоторых факторов на характеристику активированных углей

Температура пиролиза или активации, скорость нагрева, качество и концентрация агента активации, время активации, природы (сырья) являются параметрами, которые влияют на характеристики АУ (площадь поверхности, структура, пористость и др.).

• Влияние температуры пиролиза или активации

Температура пиролиза или активации влияет на свойства и количество АУ. Было показано что процесс пиролиза скорлупы кедровых орехов (СКО) в атмосфере инертного газа проходит при температуре от 200 до 500°C с образованием древесного угля. Результаты показали что получены разные физико-химические (объем пор, зольность, содержание С, Н, О в угле) характеристики при различных температурах пиролиза (таблица 2.4) [162].

Таблица 2.4 - Характеристики СКО при различных температурах пиролиза [162]

Температура пиролиз, °С	Объем пор, см ³ /г	Зольность угля, %	Содержание, С, Н, О в угле, %		
			С	Н	О
100	0,68	0,55	52,05	6,01	41,95
200	0,59	0,59	53,88	6,63	39,49
250	0,61	0,88	59,50	6,05	34,45
300	0,55	1,42	78,28	4,69	17, 03
350	1, 03	1,60	79,24	4,11	16, 65
400	1,41	1,75	80,86	3,54	15,60
450	1,33	1,90	82,80	3,70	13,50
500	1,40	1,92	82,52	3,62	13,86

Было использовано растение «*Acacia auriculaeformis*» [163] на территории Республики Кот-д'Ивуар для производства АУ методом химической активации. Растение пропитывалось в 10% фосфорной кислоте (H₃PO₄) и карбонизировалось при температурах 600, 700, 800 °С в течение 1ч. Результаты показали, что увеличение температуры активации (600, 700, 800 °С) при фиксированном времени активации 1 ч ведет к разным удельным поверхностям полученных АУ (578, 71; 771,39; 733,51 м²/г) [163].

• Влияние скорости нагрева

Обычно скорость нагрева находится в низком диапазоне от 2 до 40°C/мин, используемом для приготовления активированных углей путем химической активации [52]. Это приводит к полной термической деструкции исходного

материала и способствует лучшему развитию пористости углей. Характеристики АУ (удельная поверхность и объем пор) зависят от скорости нагрева.

В работе [154] авторы показывают (табл. 2.5), что увеличение скорости нагрева от 3 до 12 °С/мин приводит к снижению удельной поверхности в процессе пиролиза (лиственницы: (Л) , осины (О) и бука (Б)) при температуре активации около 800°С.

Таблица 2.5: Удельная поверхность в зависимости от скорости нагрева при температуре 800 °С [154]

№	Образец	Температура пиролиза, °С	Скорость нагрева, °С/мин	удельная поверхность, м ² /г
1	Л	800	3	304,9
2	Л		12	146, 4
3	О		3	13,7
4	О		12	< 10,0
5	Б		3	132,0
6	Б		12	72,8

Но другие авторы [164] показали обратный эффект увеличения скорости нагрева. То есть, если увеличить скорость нагрева от 5 до 10°С/мин, то микропористые поверхности увеличиваются в процессе получения АУ из скорлупы ореха фисташки при температуре активации (500°С).

- **Влияние качества и концентрации агента активации**

Качество и концентрация агента активации являются основными исходными характеристиками. Они оказывают влияние на свойства углерода: объем пор, распределение пор по размерам и химический состав поверхности. Контроль всех параметров и определение их соответствующего влияния на конечные свойства продукта осуществляется достаточно сложно. Химические и текстурные характеристики АУ, на самом деле, трудно предсказать [165].

Использовали антрацит (А), чтобы изучить подготовку углеродных сорбентов по методу химической активации при вариации качества (LiOH, КОН или NaOH) и концентрации агента активации при температуре активации 800 °С

[164]. Результаты показали, что для полученных активацией антрацитов в присутствии разных агентов (А/LiOH, А/NaOH, А/КОН) проявляются разные характеристики полученных активацией антрацитов (табл. 2.6).

Таблица 2.6 - Характеристики полученных активацией антрацитов при разных агентах при температуре 800 °С [166]

Образец/агент	$S_{уд}, м^2/г$	Суммарный объем пор, $см^3/г$	Объем микропор, $см^3/г$	Средний размер пор, нм
А/LiOH	235	0,15	0,10	1,0
А/NaOH	1174	0,76	0,25	2,6
А/КОН	3240	1,77	0,20	2,2

Примечание: Антрацит (А)

Изучили получение щелочной активацией бурых углей (БУ) в атмосфере аргона с вариациями концентрации агента при температуре активации 800 °С. В этом случае показаны разные характеристики (табл. 2.7) [166].

Таблица 2.7. Характеристики полученных активацией БУ в атмосфере аргона при 800 °С [166]

Образец/ агент	Уголь/щелочь	$S_{уд}, м^2/г$	Объем пор, $см^3/г$	Диаметр пор, нм
БУБ /КОН	1:3	2134	0,92	1,98
БУБ /КОН	1:5	2680	2,12	3,00
БУБ /NaOH	1:5	1259	0,72	2,55
БУИ /КОН	1:3	2003	0,86	2,76
БУИ /КОН	1:5	2250	1,45	2,92

Примечание: бурый уголь Березовского (БУБ) месторождения; бурых углей Ирбейского (БУИ) месторождения.

- **Влияние времени пиролиза или активации**

Время активации определяется как период времени, в течение которого образец выдерживали в печи после достижения конечной температуры пиролиза или активации. Вариация времени влияет на характеристики полученных АУ.

В 2015 г. [155] провели исследование влияния активации на $S_{вет}$ и развития микропористой структуры углеродных волокон на основе вискозы. Физическая

активация проводилась при 900 °С, при CO₂ и при времени от 40 до 60 мин. Результаты показали, что увеличение времени активации (30, 40, 60 мин.) при фиксированной температуре активации 900 °С ведет к повышению удельной поверхности ($S_{\text{ВЕТ}}$) полученных АУ (784; 1241; 1655 м²/г); развитию сорбционной емкости (178, 287, 380 см³/г) [155].

В 2009 г. провели сравнительные исследования способов получения АУ и его применение для удаления диурона из воды. Использовали скорлупу кокосов (СК) из Республики Кот д'Ивуар. Сначала СК по 1,5-2,0 мм карбонизировали при температуре 400 °С. Затем использовали полученный карбонизат СК для выполнения метода физической активации при 800 °С, при CO₂, времени активации от 1 до 3 часа и при скорости нагрева 10 °С/мин. Результаты показали, что увеличение времени активации (1, 2, 3ч) при фиксированной температуре активации 800 °С ведет к получению разной $S_{\text{ВЕТ}}$ полученных АУ (515,88; 1310,13; 787,78 м²/г) [167].

- **Влияние природы (сырья)**

Большинство биомасс, используемых в качестве сырья, могут пройти пиролиз и быть активированы, в результате чего они дают АУ с различными свойствами (удельная поверхность, пористость и др.). В случае если изготавливают АУ из разного сырья с использованием одинаковых условий (температура карбонизации, активации, агент активации и др.), то также можно получить АУ с различными свойствами. Можно сказать, свойства полученных АУ зависят от физико-химических свойств исходного сырья.

Например, подготовили бурые угли Березовского (БУБ) и Ирбейского (БУИ) месторождений с использованием одинаковых условий (Т=800 °С, агент активации - КОН). Результаты показали, что полученные АУ обладают разными свойствами углей, что показано в табл. 2.8 [165].

Таблица 2.8- Характеристики полученных БУБ и БУИ при 800 °С [164]

Образец/раствор	Доза (уголь/щелочь)	$S_{уд}$, м ² /г	Объем пор, см ³ /г	Диаметр пор, нм
БУБ/КОН	1:5	2880	2,12	3,00
БУИ/КОН	1:5	2250	1,45	2,92

2.7 Активированный уголь как фильтрующий материал (ФМ) и фильтр с активированным углем

АУ известен в литературе как фильтрующий материал (ФМ) [61, 64, 93] В книге «DEGREMONT» определены три типа фильтра с АУ: фильтр «CarbazurG» с низким уровнем воды и со скоростью фильтрования от 5 до 10м/ч; фильтры «CarbazurV» и «GH» с высоким уровнем воды и скоростью фильтрования от 7 до 20м/ч; фильтр «Carbazur DF» с двойным потоком, высоким уровнем воды и скоростью фильтрования от 5 до 15м/ч. Он состоит из двух ячеек фильтрации, в которые вода подается последовательно. «CarbazurDF»- это фильтр, специально разработанный для исследования на стадии вторичной фильтрации через АУ. Высота слоя АУ составляет обычно от 1 до 2 м и фракция ФМ находится в интервале от 0,5 до 2,5 мм.

2.8 Выводы по второй главе и уточнение задач исследований

В главе представлены основные понятия АУ и его применение для очистки воды и также в других областях.

1. Активированный уголь (АУ) получается из различных видов органического сырья по методу физической, химической или смешанной активации.
2. АУ используется для удаления тяжелых металлов в воде, например железа и марганца.
3. АУ характеризуется своей пористой структурой и удельной поверхностью. В литературе показано, что некоторые из АУ или сорбентов, используемые для удаления железа и марганца, имеют удельную площадь поверхности 40 м²/г и более.

4. Показано что можно использовать полученные АУ в качества фильтрующего материала (ФМ) в сорбционном фильтре.

На основании теоретического изучения получения АУ для очистки воды от ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} были уточнены задачи исследований:

1. Исследование получения АУ из СОА по методу физической активации при различных температурах.
2. Исследование рабочих характеристик полученного АУ для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе.
3. Исследование применения порошкообразного и зернистого АУ для очистки хозяйственно – питьевых вод и в химическом стоке.
4. Исследование получения ФМ из СОА и его применение в сорбционном фильтре для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды.
5. Разработка рекомендаций по получению АУ из отходов СОА и применению в водоохраных технологиях.
6. Эколого-экономическая оценка применения полученного нового сорбента в водоохраных технологиях.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью этой главы является исследование процесса и параметров получения АУ из СОА по методу физической (парогазовой) активации (H_2O) при различных температурах активации (400, 600, 700 °C).

Вначале приведем краткую историю дерева анакарда или анакардиума, плода дерева анакарда, яблока анакарда и скорлупы ореха анакард.

3.1 История дерева анакарда (анакардиум)

Исторически дерево анакарда (анакардиум) родом из Бразилии [168], где оно культивировалось коренными народами задолго до ее открытия португальцами, которые распространили растение в своих колониях в Африке и Азии. В Бразилии Индийские Тупи называли его «Асају». Это название преобразовалось в «Сају» на португальском языке, «cashew» на английском языке, «Сајуил» на испанском языке и "асајоу" или «сајоу» на французском языке [168, 169]. Первые упоминания об этом дереве найдены во французских, португальских и голландских журналах. В 1558 году французский «Thévet» опубликовал описание этого дерева. Затем в 1576 году португальский «Gandavo» описал плоды дерева. Во второй половине XVI века это дерево распространилось в Африке, в первую очередь на Восточном побережье, затем на западе [170]. В период 1960 года культивирование дерева анакарда началось в Республике Кот д'Ивуар [5].

Дерево использовалось, в основном, для борьбы с эрозией почвы, так как могло приспосабливаться к различным типам почвы. Его высота может достигать десяти метров [5, 169]. Анакардиум растет в теплом климате (20-36°C) [171], и его продолжительность жизни составляет около 30 лет [5, 169, 170].

3.2 Плоды дерева анакарда

Плоды дерева анакарда состоят из двух частей: яблоко анакарда и орех анакарда. С точки зрения ботаники, яблоко анакарда является неистинным

фруктом дерева анакарда, а орех анакарда представляет собой истинный его плод (рисунок 3.1) [171].

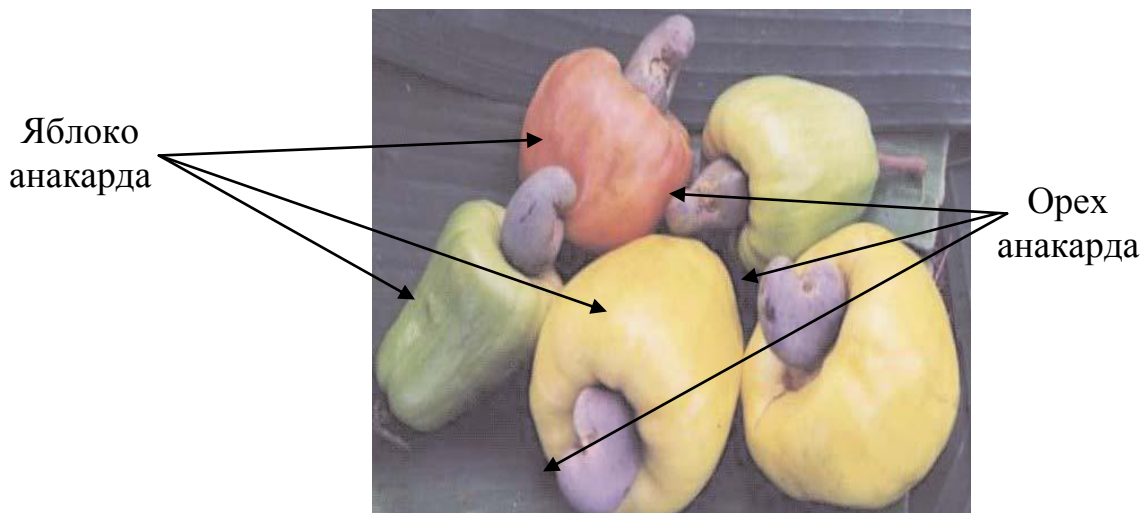


Рисунок 3.1 - Плод дерева анакарда [171]

Яблоко анакарда – это гипертрофированная мягкая плодоножка ореха анакарда, по форме напоминающая грушу. Оно может быть различных цветов в зависимости от степени зрелости: желтым, красным или оранжевым (рисунок 3.1). Яблоко анакарда съедобное, оно достаточно сочное и богато витамином С. Используется для приготовления варенья, соков, алкоголя, уксуса или сиропа. Яблоко анакарда может достигать 10 см в длину и 5 см в ширину [5, 169].

Орех анакарда имеет до 3-5 см длину и ширину от 2 до 3,5 см. Его масса может варьироваться от 3 до 18 г [169] и 1,6 см толщины [5]. Созревший орех анакарда может быть серого или серо-коричневого цвета и содержать внутри белый “миндаль” (рисунок 3.2). Получают этот миндаль после отделения от ореховой скорлупы. “Миндаль” можно употреблять в пищу (соленый или пряный), использовать в пищевой промышленности для производства кондитерских изделий: мороженого, тортов, нуги, шоколада, масла, а также применять в фармакологии [5, 168, 170].



Рисунок 3.2 – “Миндаль” анакарда

В данном исследовании была применена СОА (2,5-3,5мм), которая является отходом завода (OLAM), загрязняющим окружающую среду города Димбокро (Республика Кот д’Ивуар) (рис. 3.3). По литературным данным [4, 5, 13, 168, 169, 170] СОА содержит кислотную и токсичную жидкость под названием: бальзам скорлупы орехов (от франц. «baumedecajou») или жидкость СОА (от англ. «CNSL» - CashewNutShellLiquid), «CNSL» - это масло которое богато фенольными соединениями (кислоты). Некоторые данные физико-химического состава СОА приведены в научной литературе [4, 13, 14, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179] (таблица 3.1). На рисунке 3.4 представлена структура фенольных СОА. CNSL используется в различных отраслях промышленности. Он может: применен в производстве тормозных накладок и дисков сцепления; изменять свойства резины; служить защитой почвы от химикатов; использован в качестве водонепроницаемого покрытия металлических поверхностей и электрических кабелей и выступать в качестве связующего вещества во многих материалах в составе некоторых клеев; для защиты древесины; синтеза полимера; входить в состав несмываемых печатных красок, дезинфицирующих средств, инсектицидов, антисептиков, красок, лаков, эмалей, антиокислителей и т.д. [5, 169].

Таблица 3.1 - Физико-химический состав СОА, %

Элементы		Количество элементов, %												
Углерод (С)		-	-	-	56,4	56,0	56,6	58,3	45,7	48,7	-	-	-	
Водород (Н)		-	-	-	7,1	6,9	7,0	7,0	3,7	7,0	-	-	-	
Кислород (О)		-	-	-	33,5	34,7	33,6	32,0	44,6	44,0	-	-	-	
Азот (N)		-	-	-	0,6	0,4	0,5	0,7	0,2	0,4	-	-	-	
Серы (S)		-	-	-	<0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	
Хлор (Cl)		-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	
Связанный углерод		-	-	-	15,8	14,0	13,1	16,3	14,8	21,5	21,9	18,9	21,5	15,8
Зольность (A ^d ,%)		-	-	-	2,6	1,9	2	1,9	5,9	1,1	1,1	1,5	1,1	2,6
«CNSL»	«acide anacardique»	80	39	46-65	70 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	
	«Cardol»	14	58	15-31	10 - 18	-	-	-	-	-	-	-	-	
	«Cardanol»	-	-	10-22	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	«méthyl-cardol»	-	-	следы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Литература		[169]	[170]	[13]	[4]	[172]	[172]	[173, 174]	[175]	[176]	[177]	[178]	[179]	[14]

Благодаря своим лекарственным свойствам CNSL также используется в медицине для удаления бородавок, лечения проказы, борьбы с раком и в качестве антисептика [5].



Рисунок 3.3 -Скорлупа ореха анакарда

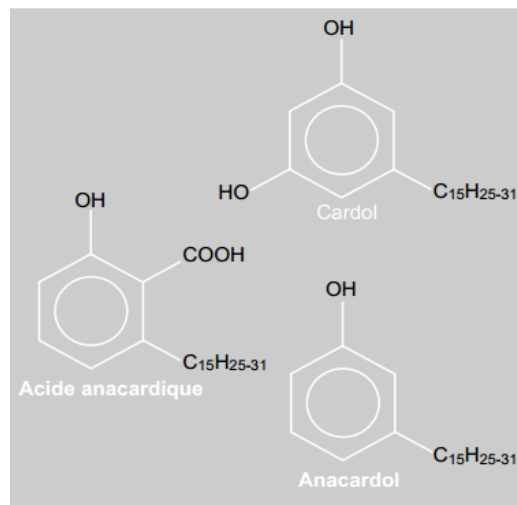


Рисунок 3.4- Структура фенольных соединений скорлупы ореха анакарда [169]

3.3 Подготовка скорлупы ореха анакарда к карбонизации

Предварительно необходимо извлечь масло (CNSL) из COA, потому что при его обжигании выделяются дымы или пары кислот, вредные для человека и окружающей среды. В литературе указаны несколько методов экстракции масла (CNSL) из COA: с помощью CO_2 [180, 181]; путем быстрого обжигания [181, 182]; с помощью перегретого пара [180, 181]; метод сольвента [181]. Данные методы экстракции масла из COA возможно применить на специализированном оборудовании.

В данной работе нами использован следующий метод для извлечения масла: сначала COA вымывалась несколько раз в воде для удаления примесей и пыли. Затем COA сушилась при комнатной температуре в лаборатории в течение 24 часов и дробилась до фракции 3-6мм (рис. 3). Далее для полного извлечения

масла СОА (фракция 3-6мм) порциями по 50 грамм обрабатывали в кипящей водопроводной воде в течение около 2-3 часов.



Рисунок 3.5 - Скорлупа ореха анакард, фракция 3-6 мм

3.4 Карбонизация скорлупы анакарда после извлечения масла

После варки в воде СОА подвергалась карбонизации, т.е. термической обработке без доступа воздуха при температуре 800 °С в электропечи СНОЛ10/11 в течение 10-20 минут, скорость нагрева составляла около 20 °С/мин. Полученный карбонизат СОА измельчали и рассеивали до фракции 1-2,5 мм (далее обозначим У800).

3.5 Физическая активация (парогазовая активация)

Физическую активацию выполняли на экспериментальной лабораторной установке, состоящей из печи и котла для выработки пара (водяной пар H₂O). Температуру активации варьировали от 400 до 700 °С, время активации было принято 30 мин. Использовали карбонизат СОА (1-2,5мм), из которого получили АУ при температуре активации 400, 600 и 700 °С (обозначены, соответственно, АУ400, АУ600 и АУ700). Полученный материал АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) фракции 1-2,5мм (рис. 3. 6), измельчали и рассеивали до

фракции 0,16 мм (рис. 3.6). Технологическая схема получения АУ из СОА представлена на рисунке 3.7.



Рисунок 3.6 - Полученный АУ из СОА, фракция 1-2,5мм и $\leq 0,16$ мм

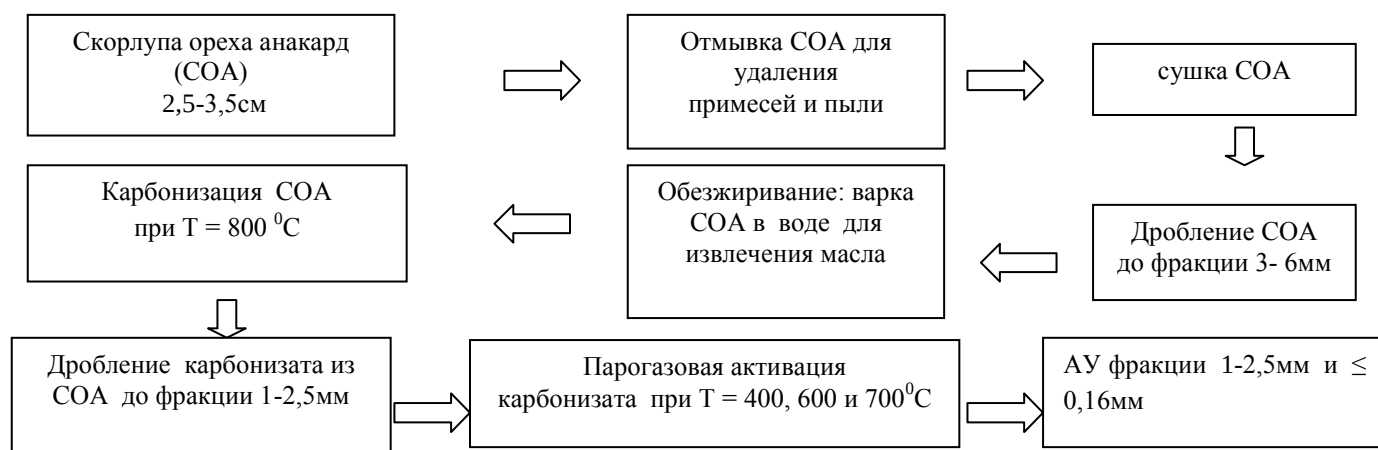


Рисунок 3.7- Технологическая схема получения АУ из СОА

3.6 Характеристики карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700)

В соответствии с задачами исследований, в аккредитованном испытательном центре АО «НИИГрафит» (г. Москва) проведено определение функциональных групп, химического состава, рН, зольности, удельной поверхности и пористости, рентгеноструктурного (рентгенофазовых) карбонизата (У800) и полученных АУ (АУ400, АУ600 и АУ700).

Исследование функциональных групп (фенольные, карбоксильные, карбонильные) для У800 определяли по методике МИ 00200851-331-2010 при температуре 22 °С. Использованы весы электронные ViBra (Япония), иономер АНИОН 7010. Приложение Г - протокол испытания определения функциональных групп.

Исследование содержания углерода, азота и водорода для У800, АУ400, АУ600 и АУ700 определяли по методике МИ00200851-3231-2008, на анализаторе EUROEA 3000 (Италия). Использовали электронные весы Sartorius CP-2P (Германия) ViBra, при температуре 19 °С. Приложение Д- протокол испытания для определения содержания углерода, азота, водорода.

Исследование содержания элементов для У800, АУ400, АУ600 и АУ700 определяли по методике МИ00200851-336-2007 на спектрографе ДФС-8, сопряженным с фотоэлектронной кассетой ФЭК-6/3648/БМЗ и ПК. Использовали программу SM2008, весы торсионные типа ВТ, при температуре 21 °С, влажности 68%. Приложение Е- Протокол испытания определения содержания элементов.

Исследование концентрации водородных ионов (рН) для У800, АУ400, АУ600 и АУ700 проводили по ГОСТу 17818.6-90 [139] при температуре 21 °С. Использовали весы электронные ViBra (Япония), иономер АНИОН 7010; Приложение Ж - протокол испытания концентрации водородных ионов водной вытяжки.

Зольность У800, АУ400, АУ600 и АУ700 определяли по ГОСТу 22692-77 [183]. Использовали весы электронные OhausAV-264С, электропечь лабораторная СНОЛ-8.2/11-1100 (Литва), температура печи 850 °С; Приложение З - протокол испытания определения зольности.

Удельную поверхность ($S_{\text{БЭТ}}$) и пористость образцов оценивали по низкотемпературной адсорбции азота на приборе ASAP 2020 фирмы «Micromeritics» (США). Изотермы адсорбции–десорбции азота фиксировали в интервале относительных давлений $p/p_0 = 0,05 \div 1,0$ при температуре 77 К. Образцы

предварительно проходили дегазацию при 150 °С под вакуумом. Величину удельной поверхности определяли методом БЭТ, исходя из изотермы адсорбции при $p/p_0 = 0,05 \div 0,30$. Объем мезопор и их распределение по размерам рассчитывали методом Баррета, Джойнера и Халенды (ВЖН) в интервале давлений 0,35–0,95 p/p_0 . Объем микропор и их распределение по размерам вычисляли методом Хорвата–Кавазое по изотерме адсорбции–десорбции азота интервале относительных давлений $p/p_0 = 0,00 \div 0,01$; Приложение И- протокол испытания удельной поверхности, распределения мезопор и микропор.

Исследование рентгеноструктурных (рентгенофазовых) характеристик для У800, АУ400, АУ600 и АУ700 осуществляли на порошковом дифрактометре D8 Advance, фирмы Bruker (Германия). Параметры съемки: медное излучение с длиной волны $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, шаг сканирования, скорость сканирования 2 град/мин; Приложение К- протокол испытания рентгенофазового анализа (РФА).

Насыпная плотность определялась по ГОСТу 16190-70 [184] в лаборатории ДГТУ.

3.7 Применение полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700) для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+}

Каждый из полученных АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) будет применен в эксперименте для модельного раствора, и только АУ700 - для химического стока.

Процесс удаления $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} исследовали в зависимости от времени (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 мин). Этот интервал времени принят, потому что необходимо не только исследовать процесс удаления $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в зависимости от времени, но и также изучить удаление $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} за короткое время по сравнению со временем пребывания воды (288мин) на станции города.

Эффективность (Э, %) удаления тяжелых металлов определяют по формуле (3.1):

$$\Xi = \frac{C_0 - C_{\text{очистка}}}{C_0} * 100\% \quad (3.1),$$

где C_0 - исходная концентрация тяжелого металла в очищаемой воде, мг/л;
 $C_{\text{очистки}}$ - концентрация тяжелого металла после очистки, мг/л.

Сорбционную емкость вычисляют по формуле (3.2):

$$Q_t = \frac{(C_0 - C_t) * V}{M} \quad (3.2),$$

где: Q_t - сорбционная емкость, мг/г; V - объем воды, л; C_0 - концентрация в исходной воде, мг/л; C_t - равновесная (остаточная) концентрация железа и марганца в фильтрате, устанавливающаяся в воде, мг/л; M - масса сухого АУ, г.

Уравнение псевдо-первого порядка Лагергрена для описания скорости адсорбции имеет вид:

$$\text{Log}(Q_e - Q_t) = \text{Log}Q_e - \frac{K_1}{2,303} * t \quad (3.3),$$

где Q_t - адсорбция в момент времени t , мг/г; Q_e - адсорбция при достижении адсорбционного равновесия, мг/г; K_1 - константа скорости псевдо-первого порядка, мин^{-1} . $\text{Log}(Q_e - Q_t) = f(t)$ позволяет определить кинетические параметры.

Уравнение псевдо-второго порядка (Хо и Маккея) для описания кинетических закономерностей адсорбции представлено следующим образом:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} * t \quad (3.4),$$

где K_2 константа скорости адсорбции модели Хо и Маккея, г /мг.мин.; график $t/Q = f(t)$ позволяет определить кинетические параметры.

Уравнение модели Морриса-Вебера, которое описывает внутрипористую диффузию и имеет следующее выражение:

$$Q_t = K_d * t^{1/2} + C_d \quad (3.5),$$

где K_d - константа скорости модели Морриса-Вебера, $\text{мг/г.мин}^{-1/2}$; C_d - константа (или значение) ординаты, в начале координат который указывает

толщину пограничного слоя, мг/г; график $Q_t = f(t^{1/2})$ позволяет определить кинетические параметры.

3.7.1 Применение полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700) для удаления ионов $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} из модельного раствора

Использовали модельный раствор, имитирующий поверхностные и подземные воды коммуны Димбокро: исходная концентрация содержит 2,5 мг/дм³ $Fe_{общ}$ и 1 мг/дм³ Mn^{2+} . Модельный раствор готовили на дистиллированной воде с введением расчетной массы сульфата железа(II) - $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ и сульфата марганца(II) - $MnSO_4 \cdot H_2O$. pH полученного раствора устанавливали между 7-8 с использованием гидроксида калия (KOH). Расчет определения массы $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ и $MnSO_4 \cdot H_2O$ находится в приложении Л.

В колбу, содержащую модельный раствор объемом 0,5 л; добавили 0,25г АУ400 (фракция $\leq 0,16$ мм; 0,5г/дм³) и перемешали на магнитной мешалки (150 мин⁻¹). Каждые 30 мин осветленную жидкость отфильтровывали и в фильтрате определяли концентрации $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} . Аналогично проводили эксперимент для АУ600 и АУ700.

3.7.2 Применение полученного активированного угля АУ700 для удаления ионов $Fe_{общ}$ в химическом стоке

Проводили исследование в аккредитованной лаборатории ООО «Ростсельмаш г. Ростов-на-Дону (Россия). Машиностроительный завод ООО «Ростсельмаш» имеет лабораторию очистных сооружений. Этот завод является крупнейшим производителем сельхозтехники в Ростовской области, в частности.

Мы выбрали химический сток завода ООО «Ростсельмаш» по трем причинам: первая причина- сточные воды содержат железо, а вторая причина - практическое применение активированного угля, и, наконец, третья причина- вода в регионе Димбокро также содержит железо. Важно отметить что, химический

сток завода ООО «Ростсельмаш» не содержат марганца, поэтому мы не контролировали его удаление.

В ходе работы было исследовано применение полученных АУ700 (фракции $\leq 0,16\text{мм}$) для удаления $\text{Fe}_{\text{общ}}$ из производственных сточных вод (таблица 1).

Таблица 3.1 - Состав химического стока машиностроительного завода ОАО «Ростсельмаш»

Показатели	Ед. измерения	Концентрации сточных вод	
		средние	максимальные
Температура	°С	20	22
Взвешенные вещества	мг/л	530	939
pH	-	8,52	11,4
Fe^{2+}	мг/л	5,88	19,3
Cl^-	мг/л	300	460
SO_4^{2-}	мг/л	492	730

Исследование удаления $\text{Fe}_{\text{общ}}$ из промстока проводилось в трехкратной повторности по следующей методике.

- 1) Отбор 10 л проб сточных вод из приемной камеры очистных сооружений машиностроительного завода, внесение из пробы по 1 л в 10 лабораторных стаканов.
- 2) Добавление 0,5 г полученного активированного угля АУ700 в каждый лабораторный стакан.
- 3) Перемешивание проб с помощью флокулятора с установленной скоростью 45 мин^{-1} и временем перемешивания 20 минут (марка флокулятора: ПЭ-8800).
- 4) Отстаивание содержимого каждого лабораторного стакана с различным временным интервалом в мин.: 30 - для первого, 60 мин –для второго, 90 - для третьего, 120 -для четвертого, 150 -для пятого, 180 - для шестого, 210 -для седьмого, 240 -для восьмого, 270 -для девятого, 300 -для десятого.

- 5) Фильтрация растворов (сточные воды + АУ) проводилась через бумажный фильтр «синяя лента».
- 6) Определение в фильтрате концентрации $Fe_{общ}$.

3.8 Исследование процесса получения фильтрующего материала из скорлупы ореха анакарда и его применение

Для определения возможности использования исследуемого материала в качестве загрузки механических фильтров очистки воды, в соответствии с ГОСТ Р 51641-2000 [185] проведены испытания АУ из СОА фракцией 0,5-2,5 мм на механическую прочность и химическую стойкость.

Эквивалентный диаметр зёрен ($d_э$, мм) и коэффициент неоднородности (K_H) определяется с помощью ситового анализа. Чтобы определить $d_э$ и K_H фильтрующего материала, отбирают пробу 300 г АУ из СОА которую высушивают при температуре 105° С. Из 300 г высушенного материала, берут навеску 200 г и рассеивают на наборе калиброванных сит (от 0,59 до 1,55 мм), $d_э$ и K_H определяется по формуле (3.6) и (3.7), соответственно:

$$d_э = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_k}} \quad (3.6), K_H = \frac{d_{80}}{d_{10}} \quad (3.7),$$

где P_i – массовая доля АУ из СОА, оставшаяся на сите диаметром d_k , мм; n – число сит = 6; d_{80} и d_{10} диаметры зерен, мм, соответствующие калибрам сит, через которые просеивается 80% и 10%; K_H не более 2.

Изучение сорбции в динамических условиях проведены по методике Трусовой В. В. [61]. Использовали полученный АУ из СОА, колонку заполняли 10г АУ из СОА (фракция 1-2,5мм); высота слоя 0,13 м, сорбционный объем – 26 см³; удельная нагрузка = 20–25 ч⁻¹. Скорость фильтрования = 1,3–1,6 м/ч. Динамическая сорбционная емкость (ДОЕ) определяется по формуле (3.8):

$$ДОЕ = \frac{V_r * C}{M} \quad (3.8),$$

где: V_r — объем чистого растворителя, вышедшего из колонки от начала опыта до появления растворенного вещества, л; C – равновесная концентрация раствора, мг/л; M — масса АУ из СОА, г.

3.9 Выводы по третьей главе

В главе 3 представлены материалы и методы исследований (экспериментальная часть) полученного АУ и его применение для удаления ионов $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} :

1. Материал исследований является отходом скорлупы ореха анакард (СОА) завода «OLAM» г. Димбокро (республика Кот д' Ивуар).

2. Предварительно была проведена подготовка исходного материала (СОА): дробление (3-6мм), удаление масла, содержащегося в СОА. Затем СОА подвергалась карбонизации, т.е. термической обработке без доступа воздуха при температуре 800 °С в электропечи СНОЛ10/11в течение 10-20 минут, скорость нагрева составляла около 20 °С/мин. Полученный карбонизат СОА измельчали и рассеивали до фракции 1-2,5 мм.

3. Физическую активацию выполняли на экспериментальной лабораторной установке, состоящей из печи и котла для выработки пара при разных температурах активации (400, 600 и 700 °С).Использовали У800 (фракция 1-2,5 мм) для физической активаций Получили АУ при температуре активации 400, 600 и 700 °С (). Полученный материал АУ фракции 1-2,5мм, измельчали и рассеивали до фракции 0,16 мм.

4. Изучали характеристики полученных материалов: функциональные группы, химический состав, рН, зольность, удельные поверхности и пористости, рентгенофазовые анализы и насыпную плотность. Определяли характеристики в аккредитованном испытательном центре АО «НИИГрафит» (г. Москва) и в лаборатории ДГТУ.

5. Исследовали применение полученных АУ фракции $\leq 0,16\text{мм}$ для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе, содержащем $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} и химическом стоке завода ООО «Ростсельмаш» г. Ростов -на- Дону. Доза АУ 0,5г/л, время применения 0 - 300 мин.

6. Проведены испытания АУ из СОА фракцией 0,5-2,5 мм на механическую прочность и химическую стойкость. Определили эквивалентный диаметр зёрен (d_z , мм) и коэффициент неоднородности (K_n) и динамическую сорбционную емкость (ДОЕ).

7. Изучена и получены показатели кинетики адсорбции ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе, содержащем $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} , в химическом стоке в 3-х моделях: псевдо-первого порядка Лагергрена, псевдо-второго порядка (Хо и Маккея) и Морриса-Вебера.

ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

4.1 Показатели функциональных групп карбонизата У800

Характеристики функциональных групп (фенольные, карбоксильные, карбонильные) карбонизата (У800) приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики функциональных групп (фенольные, карбоксильные, карбонильные) карбонизата (У800)

Характеристика материала	Сумма карбоксильных и фенольных групп, мг-экв/г	Карбоксильные группы, мг-экв/г	Карбонильные группы, мг-экв/г
У800	0,00	0	0,8

Анализируя таблицу 4.1, видим, что карбонизат У800 не содержит фенольные (0,00мг-экв/г) и карбоксильные (0,00мг-экв/г) группы, но есть небольшое количество карбонильных группы (0,8 мг-экв/г), которые придают исследуемому материалу слабые основные свойства.

Следовательно, метод варки СОА, затем карбонизации СОА при 800 °С позволяют почти полностью удалять фенольные, карбоксильные и карбонильные соединения (кислоты), изменяя первоначальную структуру материала.

Метод извлечения масла из СОА не требует специализированного оборудования, как другие методы, известные в литературных источниках, и не является экономически затратным.

4.2 Показатели химического состава карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700)

Характеристики химического состава У800, АУ400, АУ600 и АУ700 приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 –Химический состав У800, АУ400, АУ600 и АУ700, % масс

№	Показатель	символ	Содержание массовой доли каждого углей, %			
			У800	АУ400	АУ600	АУ700
1	Углерод	C	82,40 ± 0,5	81,50 ± 0,5	82,00 ± 0,5	79,70 ± 0,5
2	Азот	N	1,30 ± 0,03	1,66 ± 0,03	1,37 ± 0,03	1,20 ± 0,03
3	Водород	H	1,20 ± 0,02	1,90 ± 0,02	1,71 ± 0,02	1,70 ± 0,02
4	Кислород	O	-	-	-	-
5	Алюминий	Al	3,3.10 ⁻²	3,5.10 ⁻²	2,9.10 ⁻²	3,1.10 ⁻²
6	Бор	B	1,4.10 ⁻³	4,5.10 ⁻⁴	5,3.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻³
7	Железо	Fe	2,4.10 ⁻²	1,4.10 ⁻²	8,1.10 ⁻³	1,2.10 ⁻²
8	Кремний	Si	1,5.10 ⁻²	1,5.10 ⁻²	1,3.10 ⁻²	1,2.10 ⁻²
9	Магний	Mg	6,3.10 ⁻²	6,8.10 ⁻²	6,5.10 ⁻²	6,6.10 ⁻²
10	Кальций	Ca	5,7.10 ⁻²	4,8.10 ⁻²	3,8.10 ⁻²	4,1.10 ⁻²
11	Кобальт	Co	6,0.10 ⁻⁴	3,4.10 ⁻⁴	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵
12	Хром	Cr	5,3.10 ⁻⁴	3,2.10 ⁻⁴	6,1.10 ⁻⁴	6,7.10 ⁻⁴
13	Молибден	Mo	1,3.10 ⁻³	4,9.10 ⁻⁴	8,5.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻³
14	Титан	Ti	9,9.10 ⁻³	9,7.10 ⁻³	7,0.10 ⁻³	7,7.10 ⁻³
15	Марганец	Mn	1,8.10 ⁻²	1,8.10 ⁻²	1,5.10 ⁻²	1,7.10 ⁻²
16	Медь	Cu	5,4.10 ⁻³	7,1.10 ⁻³	5,3.10 ⁻³	7,1.10 ⁻³
17	Кадмий	Cd	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵	<1,0.10 ⁻⁵
18	Никель	Ni	5,1.10 ⁻⁴	5,2.10 ⁻⁴	3,6.10 ⁻⁴	4,3.10 ⁻⁴
19	Свинец	Pd	6,1.10 ⁻⁴	2,6.10 ⁻³	1,8.10 ⁻⁴	<1,0.10 ⁻⁵
20	Ванадий	V	1,4.10 ⁻³	2,8.10 ⁻³	2,5.10 ⁻³	2,9.10 ⁻³

Анализируя таблицу 4.2, видим, что в У800, АУ400, АУ600 и АУ700 массовая доля С находится в диапазоне (79,7–82,40%). Она немного выше, чем у карбонизата СОА из Республике Буркина-Фасо при 450 °С и карбонизата СОА из Республике Бенин, описанных, соответственно, в литературных источниках: Tagutchou J. Р. и др. (77,7%) [4] и Godjo Т. и др. (79%) [14].

Массовая доля азота (N₂) в У800, АУ400, АУ600 и АУ700 равна 1,2%, она выше, чем у карбонизата СОА из Республике Буркина-Фасо при 450 °С, что описано в литературе (Tagutchou J. Р. и др. (0,9%) [4])

Массовая доля водорода (H₂) в У800, АУ400, АУ600 и АУ700 равна 1,2%, она ниже, чем в карбонизате СОА из Республике Буркина-Фасо при 450 °С что описано в литературе (Tagutchou J. Р. и др. (3,8%) [4])

Содержание остальных элементов (Al, B, Fe, Si, Mg, Ca, Co, Cr, Mo, Ti, Mn, Cu, Cd, Ni, Pd, V) находится на уровне примесей от $1 \cdot 10^{-5}$ и до $3,3 \cdot 10^{-2} \%$.

В этой работе, массовая доля кислорода (O_2) в У800, АУ400, АУ600 и АУ700 не была определена. Однако в литературе авторы показали, что массовая доля кислорода (O_2) карбонизата СОА из Республики Буркина-Фасо при $450^\circ C$ равна 10, 8% [4].

4.3 Показатели pH карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700)

Характеристики pH карбонизата СОА при $800^\circ C$ (У800) и полученных АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристики pH У800, АУ400, АУ600, АУ700

Характеристика материала	Концентрация водородных ионов (pH)
У800	10,5
АУ400	10,52
АУ600	11,01
АУ700	10,99

pH карбонизата (У800) и полученных АУ (АУ400, АУ600, АУ700) (10,5-11,01) изменяется незначительно. Среда является щелочной.

4.4 Показатели зольности карбонизата (У800) и полученных активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700)

Характеристики зольности карбонизата (У800), и полученных АУ (АУ400, АУ600, АУ700) приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты зольности У800, АУ400, АУ600 и АУ700

Характеристика материала	Зольность, %
У800	6,60
АУ400	5,66
АУ600	6,29
АУ700	7,31

Содержание золы в карбонизате (У800) и в АУ (АУ400, АУ600, АУ700) не больше 10 %, что соответствует маркам ОУ-А (ГОСТ 4457-74) [141] для очистки воды и растворов от производственных органических кислот, масел и жиров; БАУ-МФ (ГОСТ 6217-74 [140]) для адсорбции из водных сред в фильтровальных установках.

Следует обратить внимание, что зольность У800 (6,60%); АУ600, (6,29%) и АУ700 (7,31%) выше, чем зольность АУ марки БАУ-А (6,0%), который используется для адсорбции из растворов и водных сред по ГОСТу 6217-74 [140]. Следовательно, можно предположить, что эффективность адсорбции полученных АУ будет меньше, чем БАУ-А.

4.5 Показатели удельной поверхности, пористости структуры, размера пор карбонизата (У800) и активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700)

Характеристики удельной поверхности карбонизата СОА при 800⁰С (У800) и полученных АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) приведены в таблице 4.5.

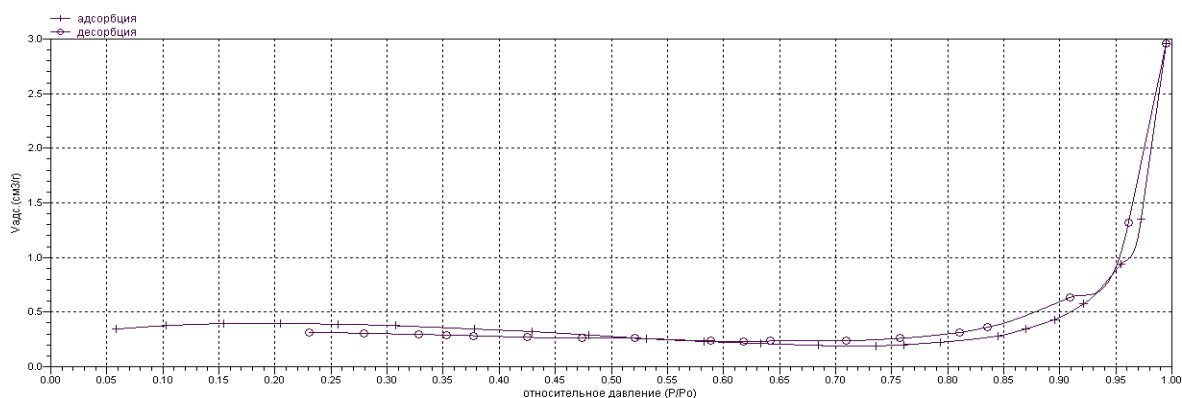
Таблица 4.5 – Удельная поверхность углей У800, АУ400, АУ600 и АУ700

Характеристика материала	Удельная поверхность $S_{БТЭ}$, m^2/g
У800	3,56±0,18
АУ400	45,3±1,3
АУ600	165,7±4,6
АУ700	316,6±11,0

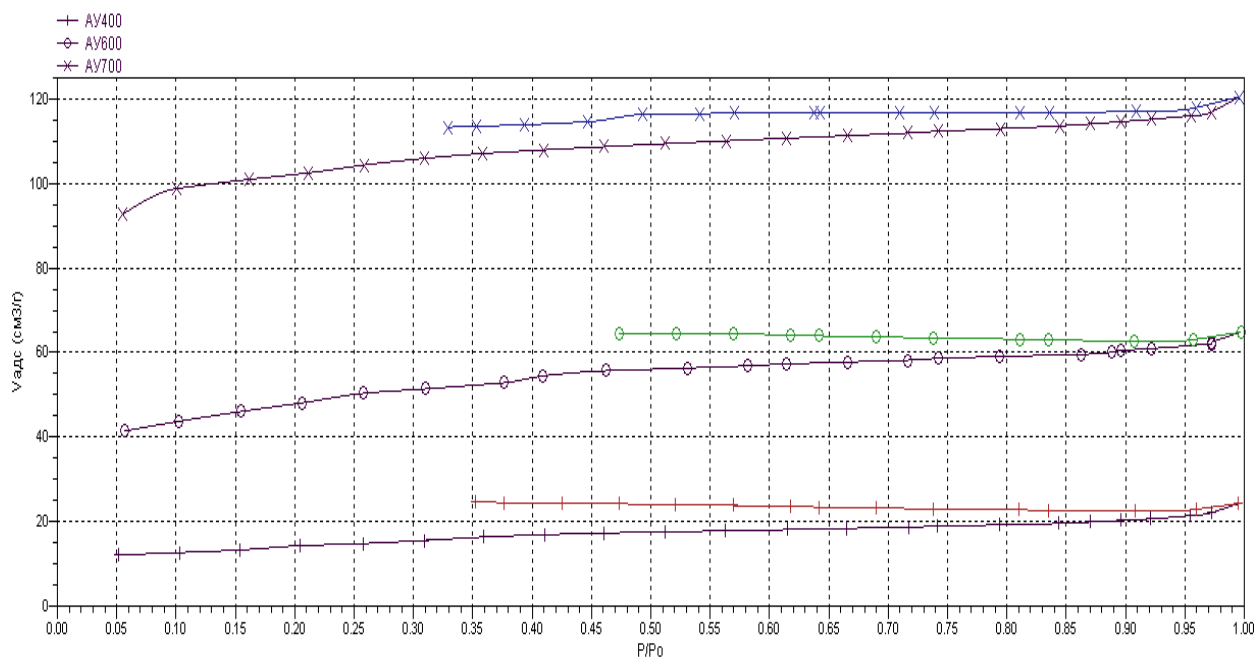
Исходный карбонизат У800 - малопористое вещество. Его изотерма адсорбции-десорбции азота представлена на рис. 4.1 (а). Эта изотерма относится к 4 типу изотерм по классификации, предложенной С. Брунауэром, Л. Демингом, У. Демингом и Э. Теллером (БДДТ) [125]. На адсорбционной ветви наблюдается медленный рост значений удельной сорбции ($V_{адс}$) с увеличением относительного показателя p/p_0 , а в области давлений азота, близких к давлению насыщения, адсорбция резко возрастает. Петля гистерезиса указывает на наличие мезопор (поры размером 2-50 нм), в которых происходит необратимая капиллярная

конденсация. В рассматриваемой изотерме петля гистерезиса соответствует типу В и характерна для материалов со щелевидной формой пор.

Изотермы адсорбции азота на карбонизате СОА после активации имеют вид (рисунок 4.1(б)), характерный для физической адсорбции микропористыми телами (1 тип изотермы: изотерма Ленгмюра) по вышеуказанной классификации и отличаются друг от друга количеством адсорбированного вещества. На изотермах наблюдается крутой подъем при низких относительных давлениях (менее 0,03) и наличие почти горизонтального плато, свидетельствующего о заполнении микропор адсорбатом (азотом).



а) У800



б) AY400, AY600 и AY700

Рисунок 4.1 – Изотермы адсорбции- десорбции азота карбонизата (У800) и полученных АУ (AY400, AY600, AY700) из СОА

Наличие небольшого гистерезиса может говорить о частичном разрушении структуры материала в процессе адсорбции.

Увеличение температуры активации исходного У800 способствует развитию микропористой структуры. Характеристики пористой структуры и насыпной плотности У800, АУ400, АУ600 и АУ700 приведены в таблице 4.6. Заметно возрастает общий объем пор, при этом доля микропор при увеличении температуры активации возрастает с 34% для АУ400 до 73-76% для АУ600 и АУ700. Вероятнее всего это соотношение является предельным. Микропоры имеют высокое соотношение $S_{БТЭ}$ к объему и, следовательно, вносят наибольший вклад в значение измеряемой $S_{БТЭ}$ рассматриваемых АУ из СОА.

Удельная поверхность полученных в данной работе АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) больше, чем удельная поверхность некоторых АУ описанных в литературе: ОГА-2 ($40\text{ м}^2/\text{г}$) [129], ОДК-1 ($85\text{ м}^2/\text{г}$) [129], СКО ($68\text{--}70\text{ м}^2/\text{г}$) [90], ОКЦ ($102\text{ м}^2/\text{г}$) [71], ($248\text{ м}^2/\text{г}$) [138], (155, 91; 292, 45; 292, 45 $\text{ м}^2/\text{г}$) [142], С-10 ($200\text{ м}^2/\text{г}$) [65], ОУ-А (поверхность мезопор, $138\text{ м}^2/\text{г}$) [79], БАУ (поверхность мезопор, $50\text{--}60\text{ м}^2/\text{г}$) [79] используемых для тех же целей (очистки воды).

Насыпная плотность находится в интервале $268\text{--}271\text{ г/дм}^3$, она изменяется незначительно (0,73%).

Таблица 4.6 – Характеристики пористой структуры и насыпной плотности У800, АУ400, АУ600 и АУ700

Материал	Суммарный объем мезо - и микропор менее $480\text{ \AA}$, $\text{см}^3/\text{г}$	Средний диаметр мезопор, $\text{\AA}$	Общий объем пор микропор менее $20\text{ \AA}$, $\text{см}^3/\text{г}$	Средний диаметр микропор, $\text{\AA}$	Насыпная плотность, г/дм^3
У800	0,0047	94	0,0008	5,01	271
АУ400	0,035	42	0,012	3,9	271
АУ600	0,098	35	0,072	3,5	265
АУ700	0,183	39	0,140	3,4	268

Преобладающий размер микропор остается практически одинаковым, однако объем их существенно возрастает с увеличением времени активации (рис. 4.2). Таким образом, варьируя режимы активации для одного и того же исходного карбонизата, можно получать материал с контролируемым соотношением пор разных размеров.

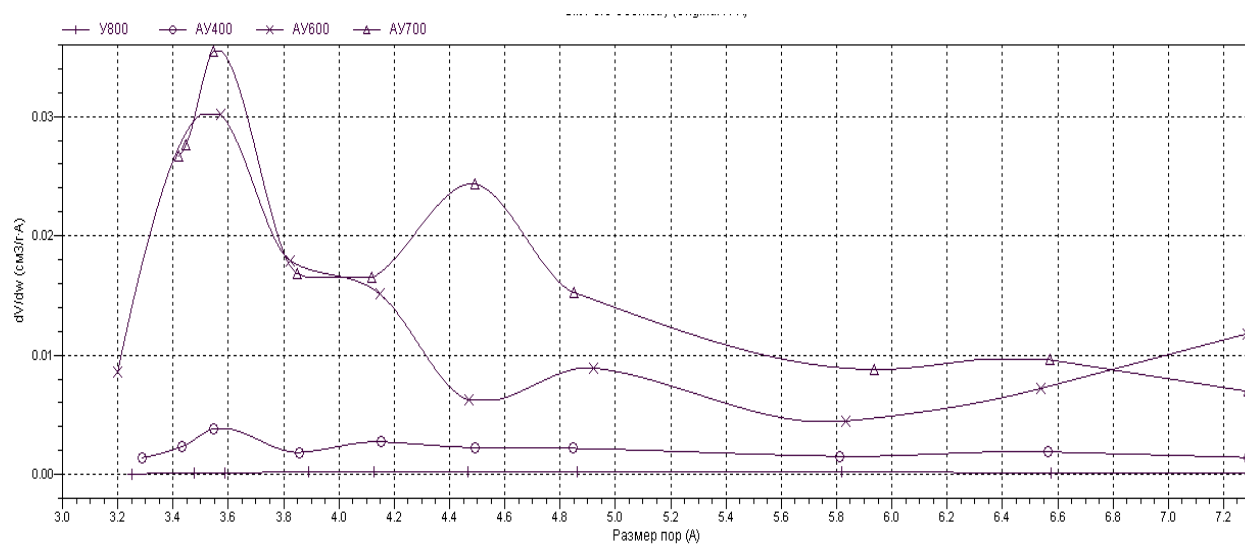


Рисунок 4.2 – Зависимость дифференциала общего объема микропор (dV/dW) от их размера (W)

Следовательно, получение АУ из СОА по методу физической активации при различных температурах активации влияет на удельную поверхность и структуру полученного угля.

4.6 Показатели рентгенофазового анализа карбонизата (У800) и активированных углей (АУ400, АУ600 и АУ700)

Характеристики рентгенофазового анализа (РФА) карбонизата СОА при 800⁰С (У800) и полученных АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Характеристики рентгенофазового анализа У800, АУ400, АУ600 и АУ700

Характеристика материала	Межплоскостное расстояние, d_{002} , Å	Степень графитации, g, %	Размер кристаллитов, L, нм
У800	3,965	< 0	0,8
АУ400	3,944	< 0	0,9
АУ600	3,950	< 0	0,9
АУ700	3,951	< 0	0,9

Результаты рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа исследуемых активированных углей приведены в табл. 4.7 и на рис.: 4.3а и 4.3б.

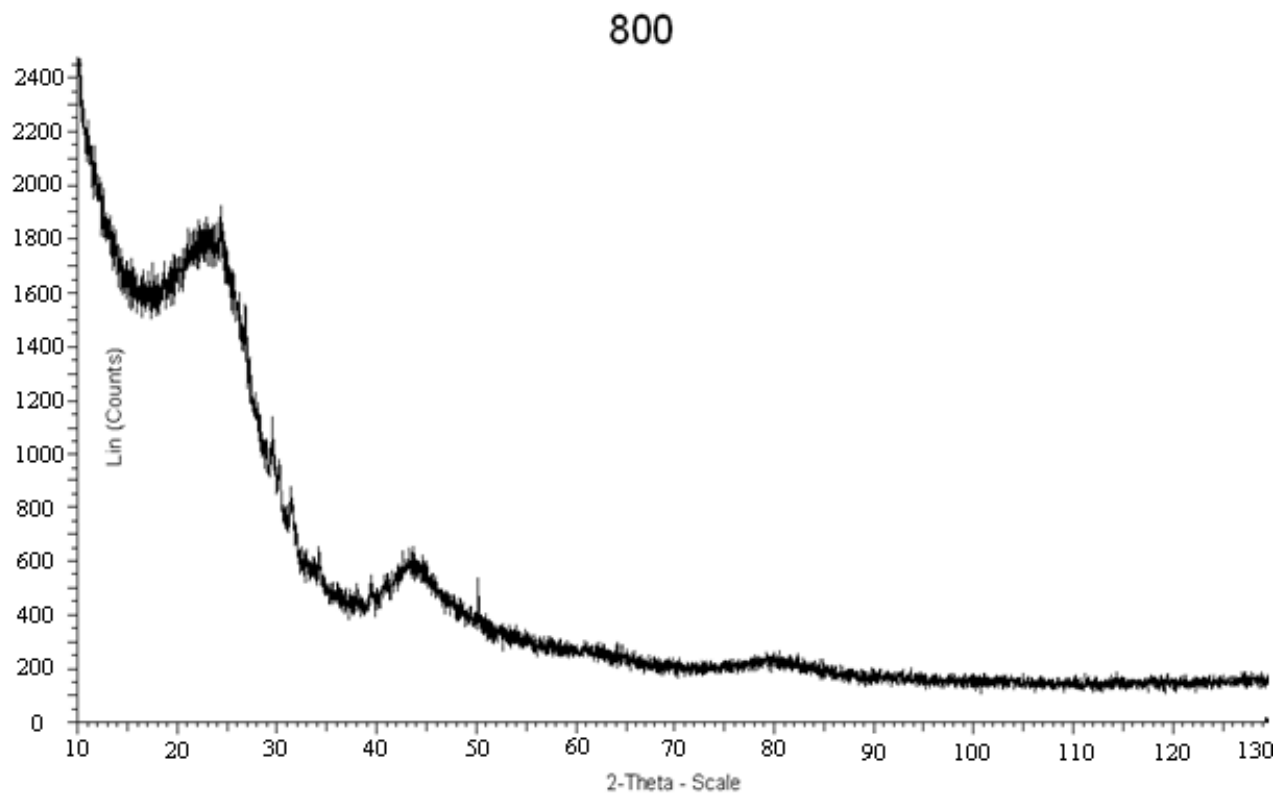


Рисунок 4.3а - Рентгенофазовый анализ углей У800

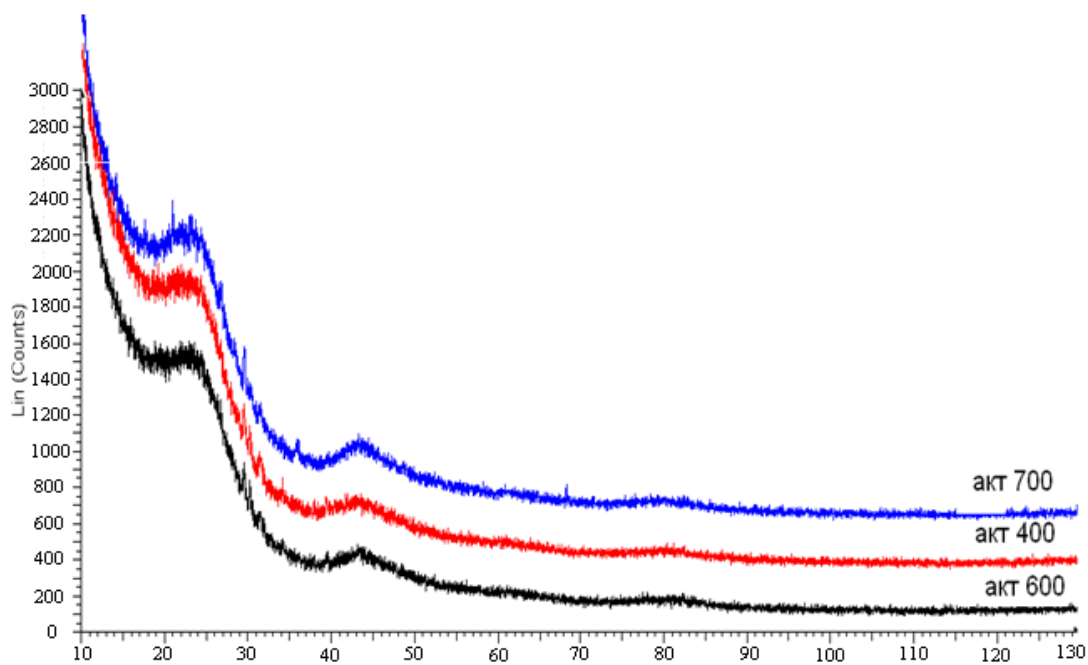


Рисунок 4.3б - Рентгенофазовый анализ углей АУ400, АУ600 и АУ700

На дифрактограммах присутствуют размытый рефлекс ($2\theta \approx 24^\circ$) фазы аморфного углерода и рефлексы малой интенсивности неизвестных кристаллических фаз. Как исходный карбонизат У800, так и активированные угли АУ400, АУ600 и АУ700 представляют собой неграфитированный аморфный углеродный материал с очень большими межплоскостными расстояниями.

Следует отметить, что характеристики рентгенофазового анализа полученных АУ изменяются незначительно, т. е. У800, АУ400, АУ600 и АУ700 имеют одинаковую кристаллическую структуру.

4.7 Сравнительная оценка физических характеристик полученных и известных активированных углей

В таблице 4.8 приведены физические характеристики полученных АУ в сравнении с АУ из литературных источников.

Анализируя таблицу 4.8, можно отметить, что удельная поверхность и поверхность мезопор АУ и сорбентов из литературных источников [65, 79, 80, 90, 129, 138, 142] составляет от 40 до 200 м²/г – это ниже, чем удельная поверхность полученных АУ: 45-316 м²/г. Среди АУ и сорбентов из литературных источников [65, 71, 90]: СКО, ОКЦ и С-10 позволяют удалить тяжелые металлы из воды (таблица 2.1; глава 2, п.: 2.1). В литературе [71] ОКЦ удаляет железо до 84% из воды (таблица 2.1; глава 2, п.: 2.1). Следовательно, можно предположить, что полученные АУ, имеющие большую удельную поверхность, пригодны для удаления тяжелых металлов (железо и марганец) из воды.

Таблица 4.8- Сравнение полученных АУ (АУ400, АУ600, АУ700) с АУ и сорбентов из литературах источников

Характеристика	Исследования данной работы			Литературные источники								
				[129]	[129]	[90]	[71]	[138]	[142]	[65]	[79]	[79]
	АУ400	АУ600	АУ700	ОГА-2	ОДК	СКО	ОКЦ	-	-	С-10	ОУ-А	БАУ
рН	10,52	11,01	10,99		-	-	-	-	8,33-8,95	-		
Зольность, %	5,66	6,29	7,31	-	-	1,7±2	-	-	3,63 - 6,67	-	10 (ГОСТ 4457-74)	6-10 (ГОСТ6217- 74)
Удельная поверхность, м²/г	45,3±1,3	165,7±4,6	316,6±11,0	40	85	68±3 - 70±2	102	248	155,91-302,07	200	138 (поверхност ь мезопор)	50-60 (поверхность мезопор)
Суммарный объем мезо - и микропор менее 480 Å, см³/г	0,035	0,098	0,183	-	-	0,29±0,02 - 0,39±0,02		-	-	-	-	-
Средний диаметр мезопор, Å	42	35	39	-	-	-		-	-	-	-	-
Общий объем пор микропор менее 20Å, см³/г	0,012	0,072	0,140	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Средний диаметр микропор, Å	3,9	3,5	3,4	-	-	17±2 - 2,3±2	-	-	-	-	-	-

4.8 Показатели удаления ионов железа и марганца из вод полученными активированными углями

- Результаты применения полученных АУ (АУ400, АУ600 и АУ700) для удаления ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе, содержащем $F_{\text{общ}}$ (2,5мг/л) и Mn^{2+} (1мг/л) в зависимости от времени, приведены соответственно в таблице 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9 –Показатели удаления ионов $F_{\text{общ}}$ из модельного раствора в зависимости от времени

Время сорбции, мин	Объем, л	Исходные модельные растворы		АУ400; 0,25г			АУ600; 0,25г			АУ700; 0,25г		
				Очищенные модельные растворы			Очищенные модельные растворы			Очищенные модельные растворы		
		pH	$Fe_{\text{общ}}$ мг/л	pH	$Fe_{\text{общ}}$ мг/л	Э, %	pH	$Fe_{\text{общ}}$ мг/л	Э, %	pH	$Fe_{\text{общ}}$ мг/л	Э, %
30	0,5	7-8	2,5	8-8,5	1,10	56	8-8,5	0,98	60,80	8-8,5	0,79	68,40
60					0,81	67,6		0,61	75,60		0,31	87,60
90					0,71	68,8		0,47	81,20		0,28	98,80
120					0,63	71,6		0,35	86,00		0,09	88,80
150					0,52	79,2		0,23	90,80		0,06	97,60
180					0,47	81,2		0,19	92,40		0,05	98,00
210					0,39	84,44		0,17	93,20		0,05	98,00
240					0,28	88,80		0,15	94,00		0,01	99,6
270					0,26	89,60		0,11	95,60		0,01	99,6
300					0,26	89,60		0,11	95,60		0,01	99,6

Э- Эффективность удаления ионов $Fe_{\text{общ}}$, %

Таблица 4.10 –Показатели удаления ионов Mn^{2+} из модельного раствора в зависимости от времени сорбентами АУ400, АУ600 и АУ700

Время сорбции, мин	Объем, л	Исходные модельные растворы		АУ400; 0,25г			АУ600; 0,25г			АУ700; 0,25г		
				Очищенные модельные растворы,			Очищенные модельные растворы			Очищенные модельные растворы		
		pH	Mn^{2+} мг/л	pH	Mn^{2+} мг/л	Э, %	pH	Mn^{2+} мг/л	Э, %	pH	Mn^{2+} мг/л	Э, %
30	0,5	7-8	1	8-8,5	0,86	2	8-8,5	0,81	19	8-8,5	0,61	39
60					0,81	19		0,71	29		0,53	47
90					0,74	26		0,62	38		0,41	59
120					0,69	31		0,58	42		0,26	74
150					0,64	36		0,55	45		0,11	89
180					0,52	48		0,46	54		0,10	90
210					0,45	55		0,31	69		0,11	89
240					0,40	60		0,22	78		0,10	90
270					0,40	60		0,20	80		0,11	89
300					0,40	60		0,20	80		0,11	89

Э- Эффективность удаления ионов Mn^{2+} , %.

На основании данных табл.4.9 и 4.10 построены кривые удаления ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} (рис. 4.4) в зависимости от времени в модельном растворе, содержащем $F_{\text{общ}}$ (2,5мг/л) и Mn^{2+} (1мг/л).

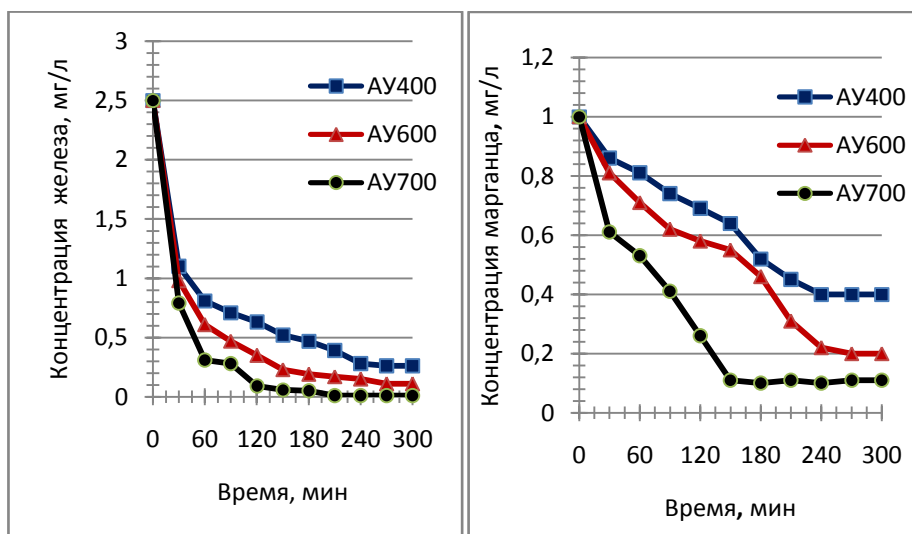


Рисунок 4.4. Удаление ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в зависимости от времени сорбции из модельного раствора, содержащего $F_{\text{общ}}$ (2, 5мг/л) и Mn^{2+} (1мг/л); $V=0,5$ л; $pH = 8-8,5$; масса АУ=0,25г

Анализ табл. 4.9 и рис 4.4 для удаления ионов $F_{\text{общ}}$ позволяет сделать выводы:

-для АУ400 эффективность удаления ионов $F_{\text{общ}}$ больше 96,60% через 240мин. После 240 мин концентрация $F_{\text{общ}}$ (0,28мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,3мг/л), но не соответствует ПДК сброса в городскую сеть (0,1мг/л);

-для АУ600 эффективность удаления ионов $F_{\text{общ}}$ больше 90,80 % через 150мин. После 150 мин, концентрация $F_{\text{общ}}$ (0,23мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,3мг/л), но не соответствует ПДК сброса в городскую сеть (0,1мг/л);

-для АУ700 эффективность удаления ионов $F_{\text{общ}}$ больше 98,80 % через 90мин. После 90 мин, концентрация $F_{\text{общ}}$ (0,03мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,3мг/л) и ПДК сброса в городскую сеть (0,1мг/л) через 120 мин.

Анализ таблицы 4.10 и рис 4.4 по удалению ионов Mn^{2+} позволяет сделать **ВЫВОДЫ:**

-для АУ400 эффективность удаления ионов Mn^{2+} больше 60% через 240мин. и концентрация Mn^{2+} (0,40мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,5 мг/л);

-для АУ600 эффективность удаления ионов Mn^{2+} больше 54% через 180мин., концентрация Mn^{2+} (0,46мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,5мг/л);

-для АУ700 эффективность удаления ионов Mn^{2+} больше 59% через 90мин., концентрация Mn^{2+} (0,41мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,5мг/л).

Таким образом, для эффективности (89-98%) одновременного удаления $F_{общ}$ и Mn^{2+} до нормы питьевой воды и ПДК сброса в городскую сеть рекомендуется применять полученный АУ700. Можно отметить, что АУ700 позволяет удалять $F_{общ}$ и Mn^{2+} за более короткое время (210мин).

Результаты адсорбции (Q_t , мг/г) ионов $F_{общ}$ и Mn^{2+} на АУ400, АУ600 и АУ700 в модельном растворе, содержащем $F_{общ}$ (2, 5мг/л) и Mn^{2+} (1мг/л), в зависимости от времени, приведены соответственно, в таблице 4.11 и 4.12.

Таблица 4.11. Показатели адсорбции (Q_t , мг/г) ионов $F_{общ}$ на АУ400, АУ600 и АУ700 в модельном растворе в зависимости от времени

Время сорбции, мин	Объем, л	Исходные модельные растворы		АУ400; 0,25г			АУ600; 0,25г			АУ700; 0,25г		
				Очищенные модельные растворы			Очищенные модельные растворы			Очищенные модельные растворы		
		pH	$F_{общ}$ мг/л	pH	$F_{общ}$ мг/л	Q_t , мг/г	pH	$F_{общ}$ мг/л	Q_t , мг/г	pH	$F_{общ}$ мг/л	Q_t , мг/г
30	0,5	7-8	2,5	8-8,5	1,10	2,8	8-8,5	0,98	3,04	8-8,5	0,76	3,48
60					0,81	3,38		0,61	3,78		0,37	4,26
90					0,71	3,58		0,47	4,06		0,03	4,94
120					0,63	3,74		0,35	4,30		0,01	4,98
150					0,52	3,96		0,23	4,54		0,01	4,98
180					0,47	4,06		0,19	4,62		0,01	4,98
210					0,39	4,24		0,17	4,66		0,01	4,98
240					0,28	4,44		0,15	4,70		0,01	4,98
270					0,26	4,48		0,11	4,78		0,01	4,98
300					0,26	4,48		0,11	4,78		0,01	4,98

Q_t – адсорбция (сорбционная емкость) ионов $F_{общ}$, мг/г

Таблица 4.12. Показатели адсорбции (Q_t , мг/г) ионов Mn^{2+} на АУ400, АУ600 и АУ700 в зависимости от времени

Время сорбции, мин	Объем, л	Исходные модельные растворы		АУ400; 0,25г			АУ600; 0,25г			АУ700; 0,25г		
				Очищенные модельные растворы,			Очищенные модельные растворы			Очищенные модельные растворы		
		pH	Mn^{2+} мг/л	pH	Mn^{2+} мг/л	Q_t мг/г	pH	Mn^{2+} мг/л	Q_t мг/г	pH	Mn^{2+} мг/л	Q_t мг/г
30	0,5	7-8	1	8-8,5	0,98	0,04	8-8,5	0,80	0,4	8-8,5	0,61	0,78
60					0,81	0,38		0,71	0,58		0,53	0,94
90					0,74	0,52		0,62	0,76		0,41	1,18
120					0,69	0,62		0,58	0,84		0,26	1,48
150					0,64	0,72		0,55	0,90		0,11	1,78
180					0,52	0,96		0,46	1,58		0,10	1,80
210					0,51	0,98		0,31	1,08		0,11	1,78
240					0,40	1,20		0,22	1,56		0,10	1,80
270					0,40	1,20		0,20	1,60		0,11	1,78
300					0,40	1,20		0,20	1,60		0,11	1,78

Q_t – адсорбция (сорбционная емкость) Mn^{2+} , мг/г

На основании данных табл.табл. 4.11 и 4.12, построены кривые адсорбции ионов $F_{общ}$ и ионов Mn^{2+} (рис.4.5), в зависимости от времени в модельном растворе, содержащем $F_{общ}$ (2, 5мг/л) и Mn^{2+} (1мг/л).

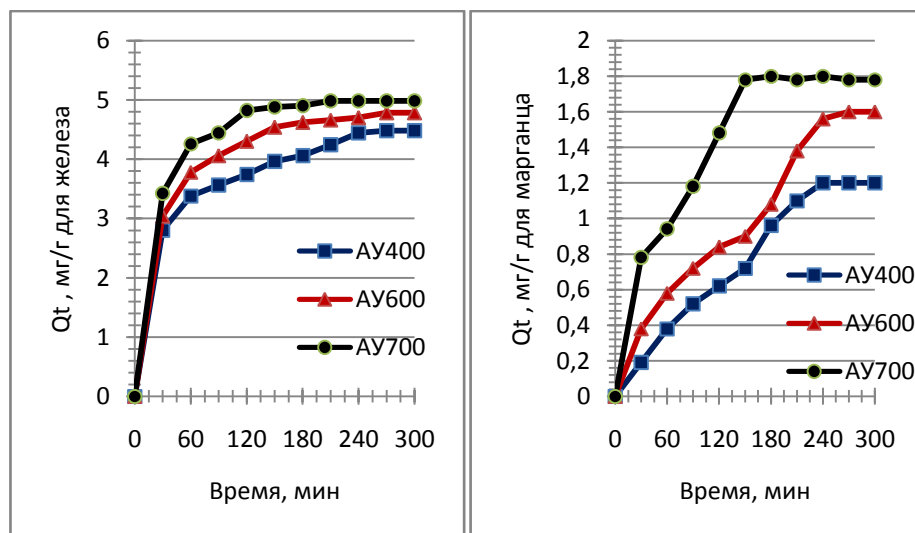


Рисунок 4.5. Адсорбция (Q , мг/г) ионов $F_{общ}$ и Mn^{2+} в зависимости от времени в модельном растворе

Анализ данных табл. 4.11 и рис 4.5 адсорбции ионов $F_{общ}$ позволяет сделать выводы:

- для АУ400 с увеличением времени адсорбция ионов $F_{\text{общ}}$ возрастает (0 - 4,44 мг/г) до 240 мин. После 240 мин, $Q_t = 4,48$ мг/г достигается равновесие;
- для АУ600 с увеличением времени адсорбция ионов $F_{\text{общ}}$ возрастает (0 - 4,66 мг/г) до 240 мин. После 240 мин, $Q_t = 4,78$ мг/г достигается равновесие;
- для АУ700 с увеличением времени адсорбция ионов $F_{\text{общ}}$ возрастает (0 - 4,90 мг/г) до 180 мин. После 180 мин, $Q_t = 4,98$ мг/г достигается равновесие.

Анализ табл. 4.12 и рис 4.5 адсорбции ионов Mn^{2+} позволяет сделать следующие выводы:

- для АУ400 с увеличением времени адсорбция ионов Mn^{2+} возрастает (0 - 1,1 мг/г) до 210 мин. После 210 мин, $Q_t = 1,2$ мг/г достигается равновесие;
- для АУ600 с увеличением времени адсорбция ионов Mn^{2+} возрастает (0 - 4,66 мг/г) до 240 мин. После 240 мин, $Q_t = 1,6$ мг/г достигается равновесие;
- для АУ700 с увеличением времени адсорбция ионов Mn^{2+} возрастает (0 - 1,48 мг/г) до 120 мин. После 120 -240 мин, Q_t варьируется между 1,78-1,80 мг/г. После 240 мин, $Q_t = 1,78$ мг/г достигается равновесие.

Описание кинетики псевдо-первого порядка (модель Лагергрена), псевдо-

второго порядка (модель Хо и Маккея) и внутрипористой диффузии (модель Морриса-Вебера) адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} в модельном растворе, содержащем $F_{\text{общ}}$ (2, 5 мг/л) и Mn^{2+} (1 мг/л) соответственно показаны на рис.4.6; 4.7 и 4.8. В таблице 4.13 приведены кинетические параметры процесса адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} .

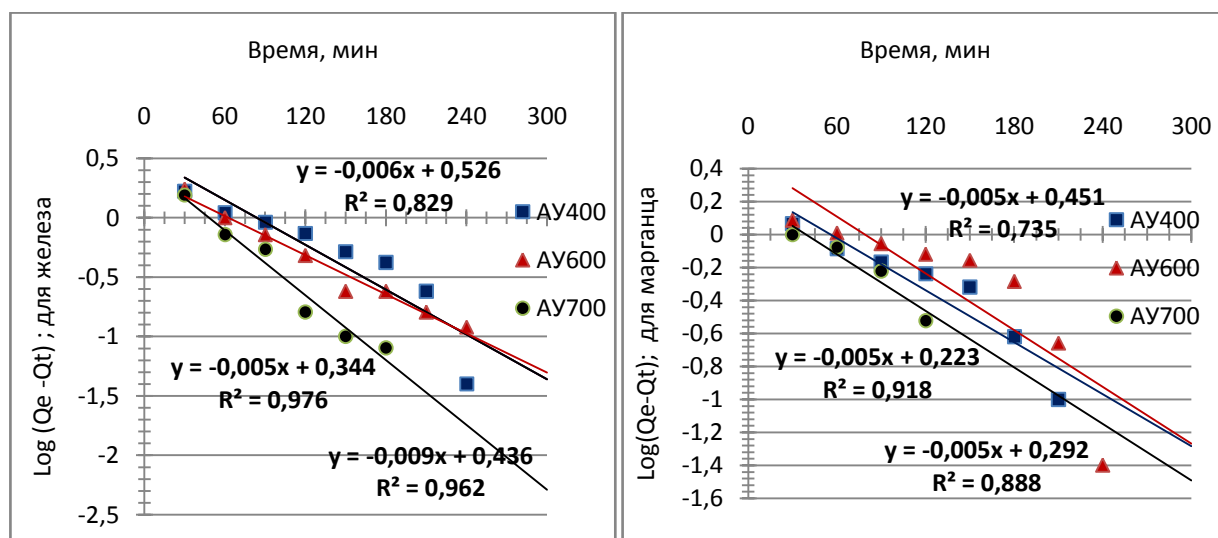


Рисунок 4.6- Кинетика псевдо-первого порядка адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} АУ400, АУ600 и АУ700 в модельном растворе (модель Лагергрена).

Анализируя данные рис 4.6, можно отметить, что модель кинетики псевдо-первого порядка (модель Лагергрена) недостаточно строго описывает кинетику адсорбции ионов $F_{общ}$ и Mn^{2+} , о чем свидетельствуют сравнительно невысокие коэффициенты корреляции, полученные при обработке кинетических кривых в координатах $\text{Log}(Q_e - Q_t) = f(t)$: $R^2 = 0,82 - 0,88$ для АУ400; $R^2 = 0,73-0,97$ для АУ600 и $R^2 = 0,91-0,96$ для АУ700.

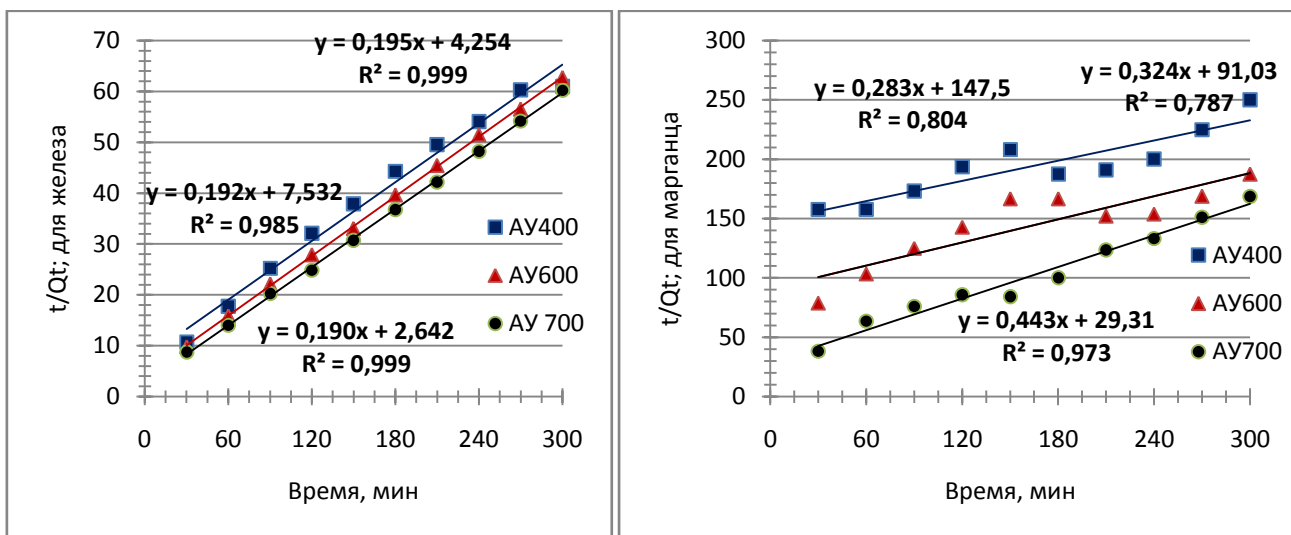


Рисунок 4.7 - Кинетика псевдо- второго порядка адсорбции ионов $F_{общ}$ и Mn^{2+} АУ400, АУ600 и АУ700 в модельном растворе (модель Хо и Маккея)

Анализ данных (рис 4.7) показывает что модель кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея) достаточно строго описывает кинетику сорбции ионов $F_{общ}$, о чем свидетельствуют сравнительно высокие коэффициенты корреляции, полученные при обработке кинетических кривых в координатах $Q_e = f(t/Q)$: $R^2 = 0,99$ для АУ400, АУ600 и АУ700. Однако, эта модель недостаточно хорошо описывает кинетику сорбции ионов Mn^{2+} , потому что коэффициенты корреляции невысокие $R^2 = 0,804$ для АУ400; $R^2 = 0,787$ для АУ600 и $R^2 = 0,973$ для АУ700.

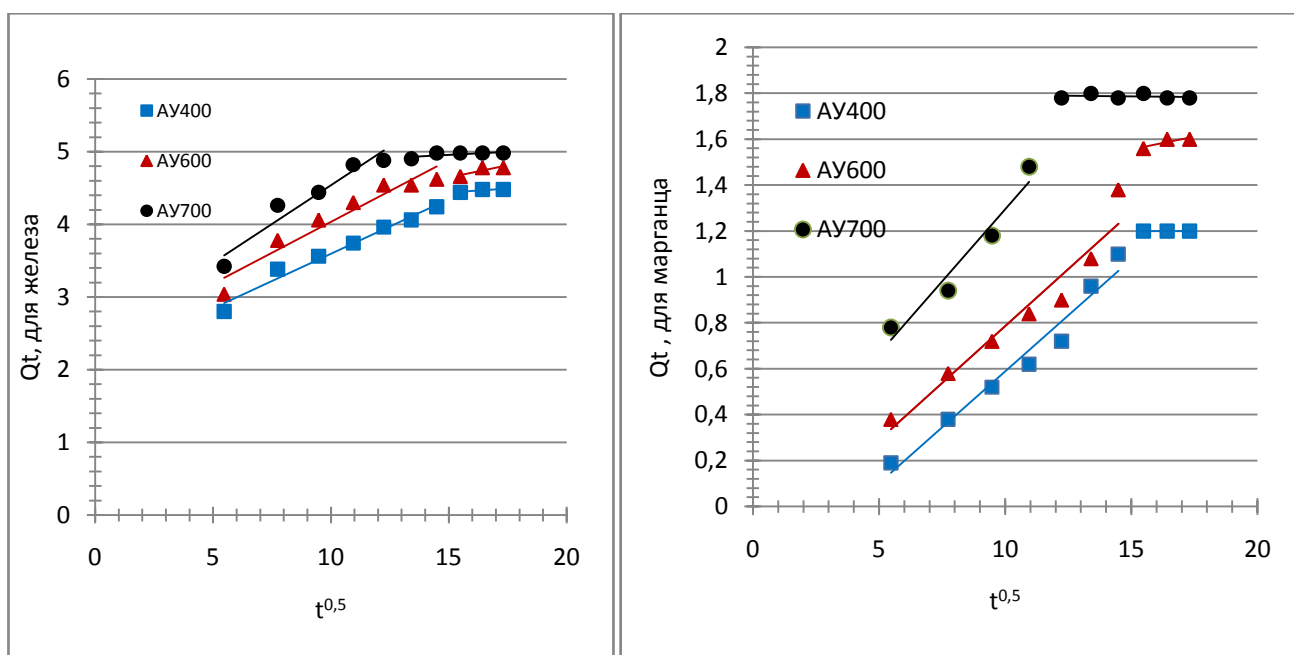


Рисунок 4.8 - Модель внутрипористой диффузии адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} АУ400, АУ600 и АУ700 в модельном растворе (модель Морриса-Вебера)

Из анализа данных рис. 4.8 следует, что модель внутрипористой диффузии представляет двойную линейность. Первая линейность представляет стадию мгновенной адсорбции или адсорбции на наружной поверхности, а вторая линейность - стадию прогрессивной адсорбции или внутри частичной диффузии, т. е. характеризует стадию ограничения механизма адсорбции.

Для адсорбции $F_{\text{общ}}$ (табл. 4.13) константа скорости диффузии ($K_d = 0,15$ - для АУ400; $K_d = 0,169$ - для АУ600; $K_d = 0,183$ - для АУ700) на первом этапе выше, чем на втором этапе ($K_d = 0,022$ - для АУ400; $K_d = 0,066$ - для АУ600; $K_d = 0,016$ - для АУ700).

Ионы железа сначала поглощаются внешней поверхностью, так что скорость адсорбции очень высока. Как только внешняя поверхность полностью насыщена, железо диффундирует во внутренние поры внутри частиц и, наконец, адсорбируется внутренней поверхностью адсорбента. Аналогичная закономерность наблюдается и при сорбции марганца (рис. 4.8).

Таблица 4.13. Результаты кинетических параметров адсорбции ионов железа и марганца на АУ400, АУ600 и АУ700 в модельном растворе, содержащем железо (2,5мг/л) и марганец (1мг/л)

Исходная концентрация Fe и Mn в модельном растворе, V=0,5л	АУ, 0,25г	Кинетические параметры										
		псевдо- первого порядка (модель Лагергрена)				псевдо- второго порядка (модель Хо и Маккея)				Модель внутрипористой диффузии		
		Q _t	K ₂	Q _e	R ²	Q _t	K ₂	Q _e	R ²	K _d	C	R ²
Fe= 2,5мг/л	АУ400	4,98	0,014	3,36	0,829	4,98	0,0049	5,20	0,985	0,15	2,09	0,97
										0,022	2,090	0,76
	АУ600	4,78	0,012	2,21	0,976	4,78	0,0089	5,12	0,999	0,169	2,33	0,92
										0,066	3,65	0,76
	АУ700	4,48	0,020	2,73	0,962	4,48	0,013	5,26	0,999	0,115	3,24	0,78
										0,016	4,70	0,53
Mn=1мг/л	АУ400	1,20	0,011	1,95	0,888	1,20	0,001	3,53	0,804	0,097	-0,38	0,96
										6·10 ⁻¹⁵	4,10	5·10 ⁻¹⁴
	АУ600	1,60	0,011	2,82	0,735	1,60	0,002	3,08	0,787	0,099	-0,20	0,93
										0,02	1,22	0,76
	АУ700	1,78	0,011	1,67	0,918	1,78	0,004	2,25	0,973	0,125	0,03	0,94
										-0,001	1,80	0,03

Таким образом, можно сделать вывод, что кинетика адсорбции ионов железа на АУ400, АУ600 и АУ700 описывается моделью кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея).

4.9 Показатели применения активированного угля (АУ700) для удаления ионов железа (Fe_{общ}) из химического стока

Результаты применения полученного АУ (АУ700) для удаления и адсорбции ионов Fe_{общ} в химическом стоке в зависимости от времени приведены в табл. 4.14.

Таблице 4.14. Показатели удаления и адсорбции ионов Fe_{общ} из химического стока в зависимости от времени АУ (АУ700)

Время сорбции, мин	Объем, Л	Исходные сточные воды, мг/л			АУ700 ; 0,5г		
					Очищенные сточные воды		
		рН	Fe _{общ} мг/л	рН	Fe _{общ} мг/л	Э, %	Q _t мг/г
30	1	9	5,15	9-10	1,05	79,61	8,20
60					0,54	89,51	9,22
90					0,42	91,84	9,46
120					0,29	94,36	9,72
150					0,17	96,69	9,96
180					0,11	97,86	10,08
210					0,08	98,44	10,14
240					007	98,64	10,16
270					0,07	98,64	10,16
300					0,07	98,64	10,16

Ξ - эффективность удаления $F_{\text{общ}}$, %; Q_t - адсорбция (сорбционная емкость) $F_{\text{общ}}$, мг/г.

Исходя из данных табл. 4.14, нами построены кривые удаление ионов $F_{\text{общ}}$ и адсорбция (Q_t , мг/г) ионов $F_{\text{общ}}$ (рис.4.19) в зависимости от времени в химическом стоке.

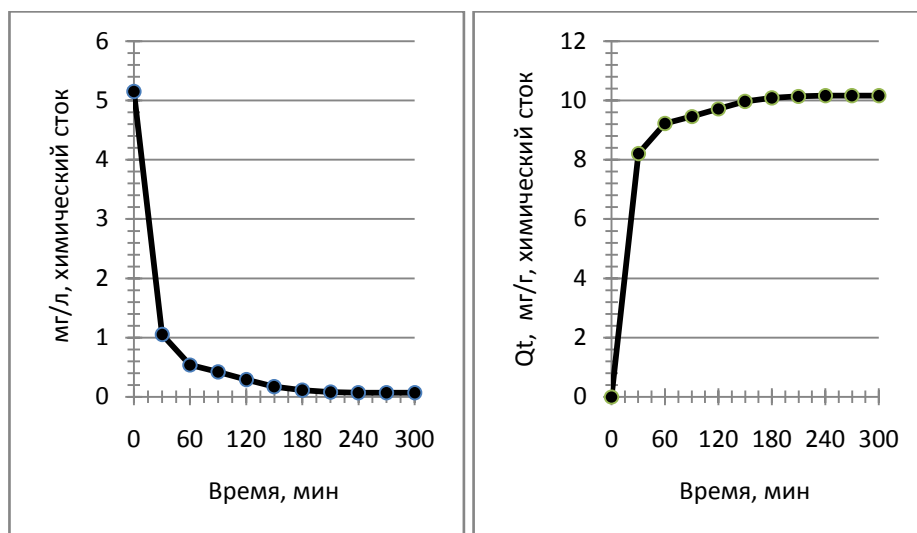


Рисунок 4.9 -Адсорбция ионов $F_{\text{общ}}$ в зависимости от времени в химическом стоке

Анализ данных таблицы 4.14 и рис. 4.9 показывает, что эффективность удаления (Ξ ,%) ионов $F_{\text{общ}}$ в химическом стоке более 94,36% через 120 мин., после 120 мин концентрация $F_{\text{общ}}$ (0,29мг/л) соответствует нормам питьевой воды (0,3мг/л) до 180 мин. После 180 мин концентрация $F_{\text{общ}}$ (0,08мг/л) соответствует ПДК сброса в городскую сеть (0,1мг/л).

Анализ процесса адсорбции (Q_t , мг/г) ионов $F_{\text{общ}}$ в химическом стоке (рис. 4.9) показывает, что с увеличением времени сорбционная емкость удаления ионов $F_{\text{общ}}$ (от 8,20 до 10,14мг/г) возрастает до 240 мин., после 240 мин адсорбция (10,16мг/г) достигает равновесия.

Характеристики кинетики псевдо-первого порядка (модель Лагергрена), псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея), внутрипористой диффузии (модель Морриса-Вебера) адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$ в химическом стоке, соответственно, показаны на рис. 4.10. Табл. 4.15 показывает кинетические параметры процесса адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$, теоретическую величину ($Q_{\text{th}} = 10,52$ мг/г) и экспериментальную величину ($Q_e = 10,16$ мг/г).

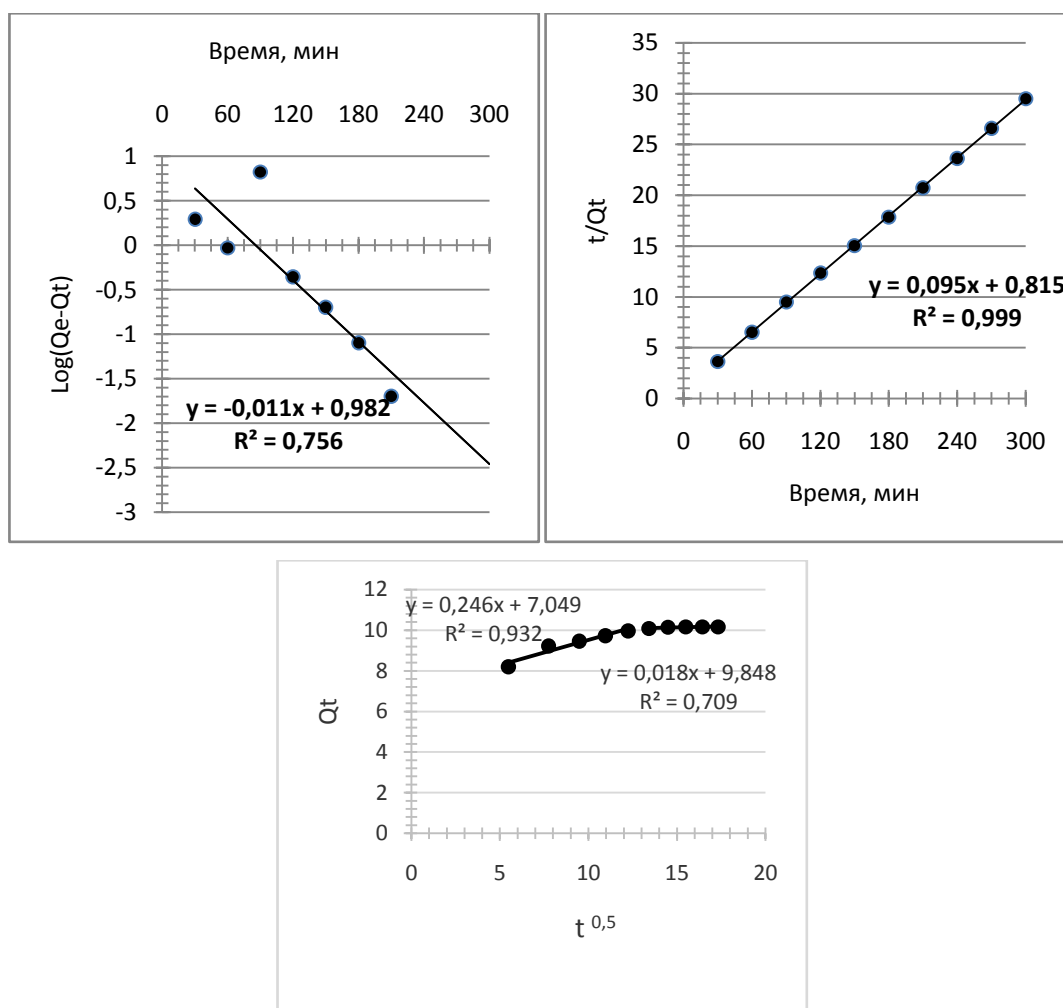


Рисунок 4.10. Кинетика псевдо-первого порядка (модель Лагергрена), псевдо- второго порядка (модель Хо и Маккея), внутрипористой диффузии (модель Морриса-Вебера) адсорбции ионов $F_{\text{общ}}$ в химическом стоке

Анализируя рис 4.10 можно отметить что, кинетика псевдо-первого порядка (модель Лагергрена) недостаточно строго описывает кинетику адсорбции ионов железа, о чем свидетельствуют сравнительно невысокие коэффициенты корреляции R^2 , полученные при обработке кинетических кривых в координатах $R^2 = 0,756$ для $\text{Log}(Q_e - Q_t)$ (модель Лагергрена). Однако модель кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея) достаточно хорошо описывает кинетику адсорбции ионов железа, о чем свидетельствуют сравнительно высокие коэффициенты корреляции, полученные при обработке кинетических кривых в координатах $Q_e = f(t/Q)$: $R^2 = 0,999$. Анализ механизма сорбции также, показывает, что модель внутрипористой диффузии представляет двойную линейность. Константы скорости диффузии, полученные при обработке кинетических кривых в координатах $Q_t = f(t^{1/2})$, на первом этапе ($K_d = 0,246$) выше, чем на втором этапе ($K_d = 0,018$).

Таблица 4.15 - Значения кинетических параметров адсорбции ионов $F_{общ}$ на АУ700 в химическом стоке

Химический сток	АУ	Кинетические параметры										
		псевдо- первого порядка (модель Лагергрена)				псевдо- второго порядка (модель Хо и Маккея)				Модель внутрипористой диффузии		
		Q_t	K_1	Q_e	R^2	Q_{th}	K_2	Q_e	R^2	K_d	C	R^2
V= 1 л; Fe=5,15мг/л	АУ700; 0, 5г	9,59	0,025	10,16	0,756	10,52	0,009	10,16	0,999	1,48	7,90	0,836
										0,006	10,05	0,623

Таким образом, можно сделать вывод, что кинетика адсорбции ионов железа из химического стока проточного на АУ700 описывается моделью кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея). Теоретическая величина ($Q_{th}=10,52$ мг/г) и экспериментальная величина ($Q_e=10,16$ мг/г) изменяется незначительно (менее 3,5%).

4.10 Результаты получения фильтрующего материала из СОА и его применение в сорбционном фильтре

В работе использован полученный АУ700, так как он имеет наибольшую эффективность сорбции.

- Результаты ситового анализа

Результаты ситового анализа (калибр сита, осталось на сите, прошло через сито) приведены в таблице 4.16.

Таблице 4.16 - Результаты ситового анализа

Калибр сита, d_k , мм	Осталось на сите		Прошло через сито	
	г	P_i , %	г	%
0,59	3	1,5	1	0,5
0,71	5	2,5	1,5	0,75
0,9	7	3,5	30	15
1,12	114	57	120	60
1,37	57	28,5	188	94
1,55	7	5,5	197	98,5

По данным табл. 4.16, построен график (рис. 4.11), по которому можно определить: эквивалентный диаметр зерен и коэффициент неоднородности.

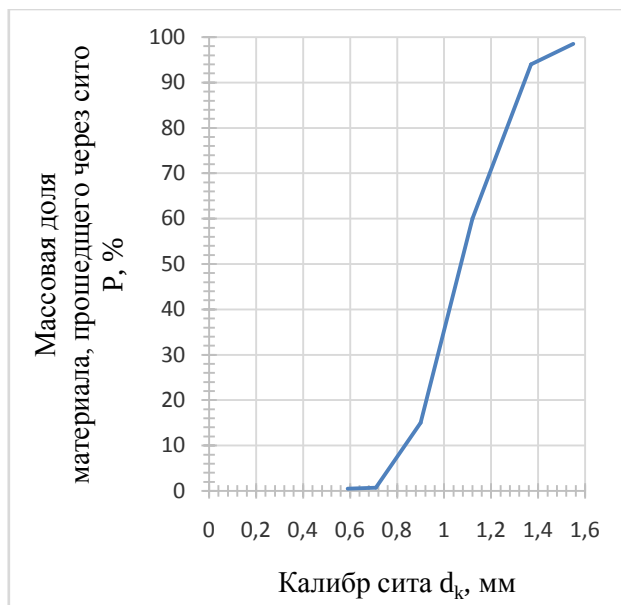


Рисунок 4.11- График гранулометрического состава АУ700

Результаты ситового анализа гранулометрического состава АУ700 позволили установить эквивалентный диаметр зерен и коэффициент неоднородности .

Эквивалентный диаметр зёрен:

$$d_s = \frac{100}{\frac{1,5}{0,59} + \frac{2,5}{0,71} + \frac{3,5}{0,9} + \frac{57}{1,12} + \frac{28,5}{1,37} + \frac{11}{1,55}} = 1,2 \text{ мм}$$

Коэффициент неоднородности: $K_H = \frac{d_{80}}{d_{10}} = \frac{1,26}{0,84} = 1,5.$

Таким образом, исследование полученного АУ700 из СОА соответствует требованиям ГОСТов РФ, предъявляемым к фильтрующим материалам, и рекомендуются к практическому использованию в очистке вод.

Результаты исследования применения АУ700 в качестве фильтрующего материала для удаления $Fe_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} , сорбции в режиме фильтрования через АУ700 (фракция 0,5-2,5мм) позволили определить ДОЕ (табл. 4.17).

Таблица 4.17. Результаты ДОЕ АУ700 (фракция 0,5-2,5мм) для удаления $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} из воды (модельный раствор, содержащий $Fe_{общ}$ и Mn^{2+})

АУ	Исходная концентрация $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} в воде, мг/л		Объем воды, л	УН	ДОЕ, мг/г
АУ700	$Fe_{общ}$	2,5	63	2423	15,75
	Mn	1	56	2154	5,6

Полученные параметры ДОЕ рекомендуется использовать в расчетах установок по очистке вод сорбцией в режиме фильтрования (4.1 – 4.4).

Объем АУ700 ($V_{АУ700}$) в сорбционном фильтре, м³:

$$V_{АУ700} = h_{АУ700} * S_{\phi}, \quad (4.1)$$

где $h_{АУ700}$ – высота загрузки АУ700, м; S_{ϕ} – площадь фильтра, м².

Масса АУ700 ($M_{АУ700}$) для загрузки в фильтре, кг:

$$M_{АУ700} = V_{АУ700} * \rho_H, \quad (4.2)$$

где ρ_H – насыпная плотность АУ700, кг/м³.

Время действия АУ700 для удаления $Fe_{общ}$ или Mn^{2+} , ч:

$$T_{АУ700} = (DOE * M_{АУ700} * n) / (C_0 * Q), \quad (4.3)$$

где: n – число рабочих фильтров; C_0 – исходная концентрация $Fe_{общ}$ или Mn^{2+} в воде, г/м³; Q – расход воды, м³/час.

Расход АУ700 на год:

$$P = M_{AV} * n * (t / T_{АУ700}), \quad (4.4)$$

где t – годовой период рабочего времени, часов, при работе фильтра 24 час/сут.

На основе полученных результатов предложена технология очистки и устройства установки для очистки вод из скважины с использованием АУ700 (рис. 4.12), которые в настоящее время внедряются в коммуне Димбокро республики Кот-д'Ивуар.

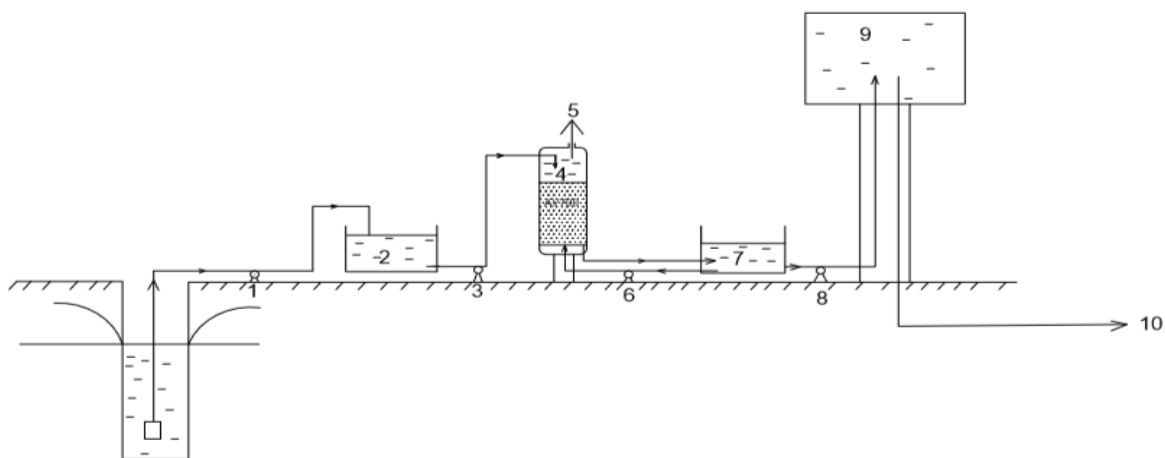


Рисунок 4.12 - Схема технологии и устройств очистки воды из скважины
 1-насос для подачи воды; 2- резервуар - усреднитель; 3-насос подачи в фильтр; 4- сорбционный фильтр; 5- отвод воздуха; 6- насос для промывки фильтра; 7 - резервуар чистой воды; 8- насос для подачи воды в водонапорную башню; 9 - водонапорная башня; 10- вода к потребителям.

Использованы следующие литературные источники: [186, 187, 188] для определения технических параметров установки очистки вод: расход воды 107 м³/сут; 4,5 м³/час. Из скважины вода насосом подается в резервуар - усреднитель объемом 15 м³ ($h \times b \times l$: 2,2 x 2 x 3,5 м), откуда насосом с датчиком давления подается в сорбционный фильтр, площадью 0,785м²; внутренним диаметром -1м, высотой-2,5м, высота слоя загрузки - 1,6 м, размер фракций АУ700 0,8 - 2,5 мм; объем – 1,3 м³. Поддерживающий слой: щебень фракцией 15 - 25 мм; высотой 0,3 м. Фильтрация ведется сверху вниз через неподвижный слой загрузки со скоростью -5,7 м/ч. Предусмотрена обратная промывка загрузки очищенной водой в течение 6- 8 минут, при повышении давления на входе в фильтр на 0,1 - 0,12 МПа. Очищенная вода поступает в резервуар чистой воды объемом 12 м³ ($h \times b \times l$: 2,2 x 2 x 2,7 м), куда для обеззараживания также вводится гипохлорит натрия дозой 3,0 мг/дм³. Далее насосом вода с реле уровня подается в водонапорную башню, объемом 10 м³, высотой 14 м, откуда поступает потребителям.

Расход АУ700 в год при одновременном удалении $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} равен 6973кг/год, при круглосуточном режиме работы установки замены сорбента производится через 10 сут. Отработанный сорбент утилизируется в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

4.11 Выводы по четвертой главе

В результате исследования возможности получения АУ из СОА по методу физической активации (H_2O) при различных температурах активации (400, 600, 700 °С) для удаления железа, марганца установлено:

1. Метод варки СОА измельченного до фракции 3-6 мм в воде в течение 2-3 часов и его (СОА) дальнейшая карбонизация при 800 °С почти полностью удаляет фенольные, карбоксильные и карбонильные соединения (кислоты). Этот метод извлечения масла из СОА не требует специализированного оборудования, как другие методы, известные в литературных источниках, и является экономически не затратным.

2. Впервые выявлена возможность использования СОА для получения АУ и обоснованы технологическая последовательность и конструкции устройств обработки СОА физико - химическими и термическими методами.

3. Проведен анализ физико-химического состава полученных АУ из СОА (АУ400, АУ600 и АУ700): массовая доля С в У800 и в полученных АУ находится от 79,7 до 82,40 %; N_2 и H_2 от 1,2 до 1,9%. Содержание остальных элементов: Al, В, Fe, Si, Mg, Ca, Co, Cr, Mo, Ti, Mn, Cu, Cd, Ni, Pd, V находится на уровне примесей от $1 \cdot 10^{-5}$ до $3,3 \cdot 10^{-2}$ %. **Зольность** в полученных АУ находится в интервале от 5,66 до 7,31%. **Концентрация водородных ионов (рН)** полученных АУ: 10,5-11,01. **Результаты рентгенофазового анализа (РФА)** полученных АУ на дифрактограммах показали присутствие размытого рефлекса ($2\theta \approx 24^\circ$) фазы аморфного углерода и рефлексов малой интенсивности неизвестных

кристаллических фаз. **Насыпная плотность** составляет от 268 до 271 г/дм³, т. е. изменяется незначительно (0,73%).

4. Выявлено, что увеличение температуры активации полученных АУ при фиксированном времени 30 минут ведет к повышению $S_{БТЭ}$ материала ($45,3 \pm 1,3$; $165,7 \pm 4,6$; $316,6 \pm 11,0$ м²/г), увеличивается $S_{БТЭ}$ материала в 4-6 раз; развитию микропористой структуры и увеличению суммарного объема мезо - и микропор ($0,035$; $0,098$; $0,183$ см³/г).

5. Описана кинетика адсорбции ионов $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} полученным АУ моделью кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея).

6. Показано, что АУ из СОА фракции $\leq 0,16$ мм в режиме дозирования порошка удаляют ионы $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} в модельном растворе, хозяйственно-питьевой воде и в химическом стоке до 98% в течение 30 - 300 мин.

7. Доказано, что полученный АУ из СОА (фракция 0,5-2,5 мм) может служить эффективным фильтрующим материалом (ФМ) в сорбционном фильтре для удаления ионов $Fe_{общ}$ и Mn^{2+} при очистке хозяйственно - питьевых вод, вод для полива сельскохозяйственных угодий и химстока промпредприятий. Отработанный АУ700 рекомендуется к применению в качестве удобрения.

ГЛАВА 5 ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ СКОРЛУПЫ ОРЕХА АНАКАРДА

5.1 Оценка экологической безопасности отходов при производстве ореха анакарда

Высушенная СОА составляет около 50-73% от массы сырых орехов [14, 169, 170]. В нашем случае экспериментально определено - 54 % от массы (гл. 3). Тогда можно оценить количество отходов СОА при производстве ореха анакарда: 2009 г. – 277, 4 тыс. тонн; в 2010 г. - 225- 328,5 тыс. тонн; в 2012г. - 312,5- 456,25 тыс. тонн; в 2015г; 362,5-529, 25 тыс. тонн в 2016г.; 375-547,5 тыс. тонн в 2018г.

Как было показано экспериментально (гл. 2), СОА содержит маслянистые вещества, которые вредны для человека и окружающей среды. Поэтому использование СОА при производстве АУ для обработки воды будет иметь дополнительные преимущества для защиты окружающей среды и экономики побережья Республики Кот-д'Ивуара.

5.2 Разработка рекомендаций по применению скорлупы ореха анакарда

Сформулируем научно-обоснованные рекомендации по применению СОА в водоохраных технологиях.

1. СОА необходимо беречь от огня.
2. СОА нельзя бросать в источники воды, поскольку они содержат «CNSL» (фенольные, карбоксильные и карбонильные соединения).
3. Желательно надевать перчатки для манипуляций с СОА
4. Чтобы избежать выделения токсичного дыма, который вреден для человека и окружающей среды, во время проведения карбонизации рекомендуется извлекать СОА(фракции 3-6мм), а затем кипятить несколько раз в воде в течение нескольких часов (2-3 часов) для извлечения «CNSL»
5. После извлечения CNSL способом, предлагаемым в пункте 4, следует карбонизировать СОА при 800 °С, чтобы не было присутствия CNSL.

6. На основе полученных результатов (глава 4), рекомендуется использовать АУ из СОА для удаления ионов $F_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} из воды.

5.3 Расчет экономической оценки производства активированного угля из скорлупы ореха анакарда

Для производства используется валюта Республики Кот-д'Ивуара. Эта валюта называется: «Frac delaCommunauté FinancièreAfricaine (FCFA)» = Франк КФА (франк Африканского финансового сообщества или западноафриканский франк). Важно отметить, что $10 \text{ FCFA} \approx 1 \text{ руб.}$

5.3.1 Оборудование и капитальные затраты

Для карбонизации, физической активации и производства АУ из СОА рекомендуют использовать печь марки «КВАРК-500» [189]. Характеристики печи «КВАРК-500» представлены в таблице 5.1.

Таблице 5.1 -Характеристики печи «КВАРК-500» для производства АУ из СОА

Сырье и производительность		
Количество сырья	Тонн/сутки	0,5-4,8
Производительность	Тонн/сутки	0,25-2,7
Фракция сырья	мм	Зависит от вида
Персонал и режим работы		
Работники	Чел.	2
Количество смен	Шт./часы	3*8, 2*12
Квалификация работника		Средне техническое образование
Время работы в сутки	Ч.	24ч либо посменно
Расчет времени работы на год	Сут.	340
Размеры		
Размеры печи	мм	7800*2500*3800
Размер участка или помещение	мм	12000 *6000 *5000
Склад готовой продукции (сухой, с вентиляцией)	м ²	От 50
Склад сырья	м ²	От 100
Коммуникации		
Вода для процесса активации	м ³	4-45
мощность при пиковой нагрузке	кВт*час	4,5
Энергия	кВт/мес.	3060

Из анализа данных таб. 5.1 видно, что печь «КВАРК-500» работает 340 сут/год. Установка может обработать 4,8 тонн/сут(4800кг/сут) СОА и получить 2,

7 тонн/сут (2700кг/сут) АУ. В этом случае за год можно обработать количество
 $COA = 4800 \cdot 340 = 1632\,000 \text{ кг/год}$ и получить $2700 \cdot 340 = 918\,000 \text{ кг/год}$ АУ из
 СОА (годовой выпуск АУ из СОА обозначается $\Gamma_0 = 918 \text{ тыс. кг /год}$).

Капитальные затраты (КЗ) на оборудование для производства АУ из СОА
 представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Капитальные затраты (КЗ) на оборудование для производства
 АУ из СОА

Оборудование или прибор	Количество, шт	Цена шт, FCFA	Стоимость, FCFA
Печь для карбонизации и активации: марка-«КВАРК-500»	1	135, 8милл.	135, 8милл.
Бак для отмывки; объем $=L \cdot l \cdot h = 2 \cdot 5 \cdot 1 = 10 \text{ м}^3$	3	70 тыс.	210 тыс.
Бак для варки; объем $=L \cdot l \cdot h = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 3,375 \text{ м}^3$	8	50 тыс.	400 тыс.
Емкости для сбора и готовых АУ; объем $=L \cdot l \cdot h = 3 \cdot 3 \cdot 1 = 9 \text{ м}^3$	3	20 тыс.	60 тыс.
Лотки для рассева АУ	3	30 тыс.	90тыс.
Дробилка АУ	1	1 милл.	1 милл.
Затраты на доставку и монтаж оборудования для производства АУ из СОА	10% от суммой стоимости		13, 756 милл.
Итого стоимость			151, 316 милл.
Расчет амортизационных средств	10% от итого стоимость		151, 316 милл.
КЗ			166,447 6милл.

5.3.2 Расчет затраченной энергии

В республике Кот д'Ивуара, цена 1кВт/ч составляет 86,62FCFA.

- Мощность печи «КВАРК-500» – 3060кВт/мес);

Затраты на энергию: $86,62 \cdot 3060 = 265\,317,06 \text{ FCFA/мес}$.

На год: цена $= 265\,317,06 \cdot 12 = 3\,183\,804,72 \text{ FCFA/год}$

- Мощность дробилки: 10 кВт/ч

Затраты на энергию составят: $86,62 \cdot 10 = 866,2 \text{ FCFA/мес}$

На год: цена $= 866,2 \cdot 12 = 10\,394,4 \text{ FCFA/год}$

Затраты денежных средств на энергию при производстве АУ из СОА на год:

$$З_3 = 3\,183\,804,72 + 10\,394,4 = 3\,191\,080,8 \text{ FCFA/год}$$

Удельные затраты электроэнергии производства 1 кг АУ из СОА:

$$3\,191\,080,8 \text{ FCFA} / 918\,000 \text{ кг} = 3,46 \text{ FCFA/кг}$$

5.3.3 Расчет затраченной воды

В республике Кот д'Ивуара (для предприятия или завода), цена 1 м^3 воды составляет: 791,1 FCFA [35]:

- Объем воды для отмывки и варки 1 кг СОА: 6 л ($0,006 \text{ м}^3$).

Объем ($V_1, \text{ м}^3$) воды для отмывки и варки СОА на год:

$$V_1 = 0,006 \text{ м}^3 * 4,8 * 1000 * 340 = 9792 \text{ м}^3/\text{год},$$

где: количество СОА: $4,8 * 1000 = 4800 \text{ кг/сут}$ (таблица 5.1); время работы в году: 340 сутки (таблица 5.1).

- Объем ($V_2, \text{ м}^3$) воды на год для активации:

$$V_2 = 45 \text{ м}^3 * 340 = 1350 \text{ м}^3/\text{год},$$

где: объем воды для активации- 45 м^3 (таблица 5.1).

- Общий объем (V) для отмывки, варки СОА и активации:

$$V = V_1 + V_2 = 9792 + 1350 \text{ м}^3 = 11\,142 \text{ м}^3/\text{год}$$

Затраты денежных средств на воду в год:

$$З_в = 11\,142 * 791,1 = 8\,814\,436,2 \text{ FCFA/год}$$

Расчет удельной стоимости воды на производство 1 кг АУ из СОА:

$$8\,814\,436,2 \text{ FCFA} / 918\,000 \text{ кг} = 9,60 \text{ FCFA/кг}$$

5.3.4 Расчет зарплаты

Заняты 15 сотрудников для процесса получения АУ из СОА: 1 электрик; 1 оператор оборудования и 13 помощников, которые будут отмывать и варить СОА, загружать полученный АУ из СОА в пакет. Зарплаты сотрудников даны в таблице 5.3.

Расчет удельной годовой зарплаты на производство 1 кг АУ из СОА:

$$3\,540\,000 \text{ FCFA} / 918\,000 \text{ кг} = 3,86 \text{ FCFA/кг}.$$

Таблица 5.3 – Зарплаты сотрудников

Должность	Количество	Зарплата за месяц; FCFA	Зарплата за год; FCFA
Оператор	1	100 тыс.	1, 2милл
Электрик	1	100тыс.	1, 2милл
Помощник	13	80 тыс.	1, 04милл
дополнительная заработная	-	100тыс.	100 тыс.
Итого			3, 54милл

5.3.5 Себестоимость

Расчет себестоимости производства АУ из СОА в Кот д'Ивуаре представлен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет себестоимости производства АУ из СОА в Кот д'Ивуаре

№	Затраты	Сумма затрат на разработку 1, 632 милл. кг/год СОА для производства 918 тыс. кг /год АУ; FCFA	
		1 кг АУ, FCFA	918 тыс. кг АУ, FCFA
1	2	3	4
1	Затраты на материалы (3 на СОА)	0	0
2	Энергия в Кот д'Ивуаре	3,46	3 191 080,8
3	Вода (в Кот д'Ивуаре)	9,60	8 814 436,2
4	Основные и дополнительные заработные платы рабочих в Кот д'Ивуаре	3,86	3 540 000
5	Расход на ремонт и обслуживание (1% от стоимости оборудования) в Кот д'Ивуаре	1,81	1 664 476
6	Налоги в Кот д'Ивуаре (12,73% от зарплаты)	0,49	450 976, 71
7	Расход на охрану труда в Кот д'Ивуаре (14% от зарплаты)	0,53	495 600
8	Участок (помещение или завод), где производят АУ из СОА в Кот д'Ивуаре	10,89	10 милл
9	С- себестоимость АУ	30,64 (35)	-
10	П – прибыль 25% от себестоимость	7,66 (10)	

5.3.6 Определение цены на 1 кг АУ, FCFA

Определение цены АУ из СОА: рассчитывается по формуле (5.1):

$$Ц = C + П, \quad (5.1)$$

где: Ц- цена АУ на 1 кг; С – себестоимость, FCFA; П– прибыль 25% от С, FCFA.

$$Ц = 35 + 10 = 45 \text{ FCFA}$$

5.3.7 Расчет прибыли для производства АУ из СОА, FCFA

$$П = \Gamma_0 * (Ц - C), \quad (5.2)$$

где $\Gamma_0 = 918\,000$ кг /год; Ц – отпускная цена; С - себестоимость.

$$П = 918\,000 \cdot (45 - 35) = 9\,180\,000 \text{ FCFA в год.}$$

5.3.8 Расчет рентабельности (Р), FCFA

$$P = (Ц - C) / C * 100\%, \quad (5.3)$$

$$P = (45 - 35) / 35 * 100\% = 28,57 \%$$

5.3.9 Окупаемость (ОК), FCFA

$$ОК = КЗ / П, \quad (5.4)$$

где КЗ – капитальные затраты, П – прибыль.

$$ОК = 166\,447\,600 / 9\,180\,000 = 18,13 \text{ лет}$$

Технико-экономические показатели производства АУ из СОА представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5– Технико-экономические показатели производства АУ из СОА

Показатели	На единицу продукции, FCFA	На весь объем производства
КЗ на оборудование или прибор	-	166,4476млн.
З на СОА	-	0 FCFA/год
С	35	32,13 млн. FCFA/год
Ц	45	41,31млн. FCFA/год
П	-	9,18 млн. FCFA/ год
Р	-	28,57 %
Срок ОК	-	18,13лет

5.3.10 Сводная таблица отпускной цены активированного угля из скорлупы ореха анакарда и активированного угля на рынке в республики Кот-д'Ивуар и в России

В республике Кот д'Ивуара, компания водоснабжения «SODECI» покупает 1 кг АУ за 1150 FCFA.

В таблице 5.6 приведены цены полученного АУ из СОА в сравнении с ценой АУ на рынке в республики Кот-д'Ивуара и России.

Таблица 5.6- Сравнение цены полученного АУ из СОА с ценой АУ на рынке в республики Кот-д'Ивуара и России

Отпускная цена АУ из СОА, FCFA/кг	Цена АУ на рынке (Кот д'Ивуар), FCFA/кг /руб	Цена АУ на рынке (Россия), руб /кг
45	1150 / 115	315

Анализируя данные табл. 5.6, можно отметить, что отпускная цена АУ из СОА дешевле в 25 раз, чем цена АУ на рынке в республике Кот-д'Ивуар и России.

5.3.11 Расчет для уменьшения срока окупаемости

Отпускная цена АУ из СОА дешевле в **25 раз**, чем цена АУ на рынке. Чтобы уменьшать срок окупаемости (18,13 год) можно увеличивать отпускную цену АУ из СОА (от 45 до **390 FCFA/кг**). Для **390 FCFA/кг**, отпускная цена АУ из СОА будет дешевле в **2-3 раза** дешевле чем цена (1150 FCFA/кг) АУ на рынке (Кот-д'Ивуар).

В этом случае можно поставить отпускную цену АУ из СОА: $C = 390$ FCFA/кг и получить прибыль: $\Pi = 355$ FCFA.

Используя формулу (5.2), получаем: $\Pi = 918\,000 \cdot (390 - 35) = 325\,890\,000$ FCFA в год.

Используя формулу (5.3), получаем: $P = (390 - 35) / 35 \cdot 100\% = 1014,28\%$.

Используя формулу (5.4), получаем: $OK = 166\,447\,600 / 325\,890\,000 = 0,51$ год (6 месяцев).

В следующей таблице 5.7 приведены технико-экономические показатели для уменьшения срока окупаемости (срок ОК).

Таблица 5.7 – Техничко-экономические показатели для уменьшения срока окупаемости(срок ОК)

Показатели	На единицу АУ из СОА, FCFA	На весь объем производства АУ из СОА
КЗ на оборудование или прибор	-	166, 447 6милл.
ЗМ СОА	-	0 FCFA/год
С	35	32, 13милл. FCFA/год
Ц	390	41, 31милл. FCFA/год
П	-	325, 89 милл. FCFA/ год
Р	-	1014,28 %
Срок ОК	-	0, 51 год (6 месяцев)

Если ввести организованные поставки АУ из СОА на мировой рынок, то рентабельность его производства возрастет (315 /115) в 2, 7 раза, а срок окупаемости составит (0,51 /2.7) 0, 19 года, т. е. около 2 месяцев, что будет иметь большой резерв для экономики страны.

При этом уменьшится нагрузка на окружающую среду за счет использования отходов на **1 632 000 кг/год**, что также создаст дополнительный экономический эффект за счет снижения оплаты за размещение отходов.

5.4 Выводы по пятой главе

1. Использование СОА повышает экологическую безопасность в республике Кот д'Ивуар; использование отходов СОА для производства АУ (**918000 кг/год**) в сельском хозяйстве, что снижает нагрузку на окружающую среду (снижение сельскохозяйственных отходов на **1632 000 кг/год**); применяют **6973 кг/год** АУ из СОА на станции производительностью **107 м³/сут.**
2. Использование СОА для производства АУ снижает импорт АУ.
3. Производство АУ из СОА дешевле (**39 руб/кг**) в 2-3 раза, чем АУ, продаваемый на рынке (**в Кот д'Ивуар 115 руб/кг и в России 315 руб/кг**).
4. Сроком окупаемости является 0, 51 год (6 месяцев).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате получения и изучения свойств нового типа АУ из отходов СОА обоснована перспективность его применения для очистки вод от $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} , и при этом установлено.

1. Выявлена возможность использования отходов СОА для производства АУ и обоснованы технологическая последовательность и конструкции устройств обработки СОА физико - химическими и термическими методами.

2. Установлен физико-химический состав и технологические характеристики полученных АУ из СОА, значения которых находятся в рамках ГОСТ РФ на активированные угли.

3. Процесс адсорбции ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} полученными АУ описывается моделью кинетики псевдо-второго порядка (модель Хо и Маккея).

4. Экспериментально установлено, что АУ из СОА (фракция 1,0-2,5 мм) является эффективным фильтрующим материалом в сорбционном фильтре для удаления ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} при очистке хозяйственно - питьевых вод, вод для полива сельскохозяйственных угодий и химстока промпредприятий.

Отработанный АУ рекомендуется к применению в качестве удобрения

5. Разработаны рекомендации и предложена методика расчета по применению АУ из СОА в водоохранных технологиях, принятых к внедрению в республике Кот д'Ивуар.

6. Показано, что себестоимость производства АУ из СОА меньше в 8 раз, чем стоимость на мировом рынке АУ из других видов растительности.

Рекомендации производству

На основании полученных результатов можно рекомендовать организовать промышленное производство АУ из СОА, что экономически целесообразно и повышает экологическую безопасность за счет утилизации сельскохозяйственных отходов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В перспективе необходимо проведение дополнительной серии экспериментов с увеличением температуры активации (до 1000°C) для установления соответствующих характеристик пористой структуры АУ из СОА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Association Africaine de l'Eau, objectifs et missions; <https://afwa-hq.org/index.php/fr/present/objectifs-et-mission>
2. Association Africaine de l'Eau, congrès AAE; <https://afwa-hq.org/index.php/fr/documents/congres-aae/category/10-congres-aae>
3. Куасси Б. Г., Серпокыров Н. С., Яковлева Е. Анализ процессов флокуляции при очистке природных вод в сухой и мокрый периоды года в странах Западной Африки. Вода: технология и экология. – 2015. - № 2. - С. 77 – 81.
4. Tagutchou Jean-Philippe, Naquin Pascale; Caractérisation et traitement thermochimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou; Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, 21-24 mars 2012, Agadir, Maroc. pp.28-35;
<https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.2722>
5. Soro Doudjo; Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits; Thèse de Doctorat de Montpellier SupAgro, Institut des Régions Chaudes (France); 2012; p.135
6. Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire; Fiche sectorielle Filière Anacarde; La filière de l'anacarde en bref [en ligne]. Disponible sur: <http://www.cci.ci/3.0/component/content/article/133-telechargements/683-fiches-sectorielles>, Date de publication 08.08.2014, (Consulté le 01.10.2018)
7. Jeune Afrique, Côte d'Ivoire: Forte poussée de la récolte de noix de cajou en 2015 [en ligne]. Disponible sur: <https://www.jeuneafrique.com/251243/economie/cote-divoire-forte-poussee-de-la-recolte-de-noix-de-cajou-en-2015/>, Date de publication: 28.07.2015, (Consulté le 01.10.2018)
8. Ouattara Gniré Mariam; Les déterminants de l'adoption de certaines bonnes pratiques culturelles avant récolte de la noix de cajou en Côte d'Ivoire; IOSR Journal of

Economics and Finance (IOSR-JEF) e-ISSN: 2321-5933, p-ISSN: 2321-5925. Volume 8, Issue 3 Ver. I (May. - June. 2017), PP 08-15; <https://doi.org/10.9790/5933-0803010815>

9. Ouattara Gniré Mariam; Analyse de la dynamique de l'offre de noix brutes de cajou en Côte d'Ivoire: une application par l'approche autorégressif à retards échelonnés (ARDL); European Scientific Journal ESJ volume 14 issue 34; December 2018; p. 292-306; <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n34p292>

10. Konandi Jean- Mermoz; La Côte d'Ivoire attend une production de 725 000 tonnes de noix de cajou en 2016, soit 24% de l'offre mondiale [en ligne]. Financial Afrik; Disponible sur: <<https://www.financialafrik.com/2016/02/15/la-cote-divoire-attend-une-production-de-725-000-tonnes-de-noix-de-cajou-en-2016-soit-24-de-loffre-mondiale/>>, Date de publication 15.02.2016, (Consulté le 01.10.2018)

11. Kouadio Baudouin Koko; Le rôle des Industries Agroalimentaires dans la croissance agricole: Cas de la Côte d'Ivoire; Thèse de Doctorat de l'Université IBN Zohr, - Agadir, 2013; p. 179

12. Auguste Ettien; Pré-étude de valorisation énergétique de coques d'anacarde; Mémoire de Master de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE); Burkina, Ouagadougou; 2010; p. 43

13. Michael Melzer; Valorisation énergétique des sous-produits agricoles en zone sub-saharienne: pré-conditionnement de la biomasse par pyrolyse flash; Thèse de Doctorat de l'University of Technology of Compiègne (UTC); 2013; p. 338

14. Thierry Godjo, Jean-Philippe Tagutchou, Pascale Naquin, Rémy Gourdon: «Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin»; Déchets Sciences et Techniques - N°70 - Nov 2015;

[doi:10.4267/dechets-sciences-techniques.3282](https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3282); p 11-18

15. Michel Amani Kouassi, Alphonse Kouakou Yao, Ernest Kouassi Ahoussi, Cyrus Laurent Seki, Anicet N'da Yao, Ismaël Kra Kouassi et Jean Biemi: «Apports des méthodes statistiques et hydrochimiques à la caractérisation des eaux des aquifères

fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)»; Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(5): p.1816-1838, October 2010;

<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i5.65584>

16. Recensement Général de la Population Humaine de la République de Côte d'Ivoire, 2014

17. Emile Assiè Assemian, Michel Hermann Kouakou Kanga, Konan Kouassi, Jean-Julius Koffi Yao et Emile Brou Koffi; Analyse des variations de la recharge des eaux souterraines du socle de Dimbokro, zone tropicale humide du centre-est de la côte d'ivoire, face au changement climatique; Rev. Ivoir. Sci. Technol., 31 (2018) 84 -107; ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>

18. Mairie de la ville Dimbokro, «Monographie de la commune de Dimbokro»; 2015

19. Azokou A, Achi YL, Koné MW., Lutte contre les tiques du bétail en Côte d'Ivoire par des méthodes traditionnelles. Livestock Research for Rural Development, 28(52), 2016;

[URL:http://www.lrrd.org/lrrd28/4/azok28052.htm](http://www.lrrd.org/lrrd28/4/azok28052.htm).

20. Le Guen T., Les barrages du Nord de la Côte-d'Ivoire: développement socio-économique et état sanitaire des populations. Brest, Université de Bretagne Occidentale, École doctorale des sciences de la mer, 2 volumes, 467 p. (Doctorat nouveau régime en Géographie); 2002

21. Tanguy Le G., Le développement agricole et pastorale du nord de la Côte d'Ivoire: Problème de coexistence, les cahiers d'outre-mer: 226-227; 2004; DOI:10.4000/com.563.

22. Ministère de la production animale et des ressource halieutique Rapport national sur l'état des ressources zoogénétiques; République de Côte d'Ivoire; Mars 2003

23. Denis Zoungrana; Cours d'approvisionnement, Gestion de la demande en eau potable; Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2IE); Burkina, Ouagadougou; Juin 2008; p. 121
24. Mahamadou Koita; Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro - Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire); Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II (France); Le 13 Juillet 2010; p. 220
25. Kouassi A. M., Okaingni J. C., Baka D., Lasm T., Biemi J.; «Analyse géostatistique du coefficient d'emménagement des aquifères fissurés du centre-est de la Côte d'Ivoire»; Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, №25, Mars 2016, pp. 31-48;
<http://dspace.univ-biskra.dz:8080/jspui/handle/123456789/7588>
26. Yoboué KE, Yao-Kouamé A, Alui KA.: «Evolution Pédogéochimique et minéralogique au cours de l'altération des formations du complexe volcano-sédimentaire d'Anikro et de Kahankro (Toumodi) dans le Centre-Sud de la Côte d'Ivoire»; European Journal of Scientific Research, 40(1): 60-72; 2010
27. Géomines L.; Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise»; Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, République de Côte d'Ivoire, carte de M'bahiakro, Cahier № 19, p.20; 1982a.
28. Géomines L.; Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise»; Ministère des Travaux Publics et des Transports, Direction Centrale de l'Hydraulique, République de Côte d'Ivoire, carte de Dimbokro, Cahier № 25, p.20; 1982b
29. Boulangé B., Delvigne J.; Descriptions morphoscopiques, géochimiques et minéralogiques des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de cote d'ivoire (1); Cahier de l'ORSTOM, Série Géologie, 5(1): 59-81; 1973

30. Bonvallet J., Boulangé B.: Note sur le relief et son évolution dans la région de Bongouanou (Côte d'Ivoire). Cahier de l'ORSTOM, Série Géologie, 2(2): 171-183; 1970
31. Kouassi A. M., Ahoussi K. E., Yao K. A., Ourega W. E. J. A., Yao K. S. B., Biemi J.: Analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire); Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, № 10, Mars 2012, pp. 57-74
32. Koudou Aimé, Brou Etienne N'Dri, Kadio Hilaire Niamke, Oi Adjiri Adjiri, Abé Parfait Sombo, Kouadio Charles Niangoran; Analyse de la productivité et estimation de la vulnérabilité à la pollution pour l'optimisation de l'implantation des forages dans les aquifères de socle du bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire); Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 2016, № 38, 149-164.
33. Kouassi A. M., Kouakou K. E., Ahoussi K. E., Kouame K. F., Biemi J.; Application d'un modèle statistique à la simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines: cas de l'ex-région du N'zi-Comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire); Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, № 32, Dec 2017, pp. 47-69
34. Organisation Mondiale de la Santé - OMS (Всемирная организация здравоохранения - ВОЗ)
35. Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI)»
36. Yoboué Descord Venance, Le service public de l'eau potable en période de guerre, le cas de la Côte d'Ivoire, 2011.
37. Energie Electrique de la Côte d'Ivoire (EECI)
38. Société d'aménagement urbain et rural (SAUR)
39. Aké G. M. N'Gbo; Participation du privé à la fourniture d'eau et d'électricité en Côte d'Ivoire: Bilan et perspectives; Bulletin de Politique Economique et de Développement (BUPED) N°10/2009 et Cellule d'Analyse de Politiques Economiques du Cires (CAPEC).

40. Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (DRSP); République la Côte d'Ivoire; Janvier 2009
41. Amian Kablan J. F.; Mobilisation des ressources en eau de surface pour l'alimentation en eau potable des populations du Département de Ferkessédougou (Côte d'Ivoire)»; Mémoire de master de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso; 2010; p. 56
42. Amadou Hama Maiga, Approvisionnement en eau des petits centres urbains africains; Sud sciences et Technologies № 2, 1988
43. Sandotin Lassina Coulibaly, Drissa S., S. Kouakou A., Seydou C., Habib B. B., Lacina C.: «Assessment of Wastewater Management and Health Impacts in African Secondary Cities: Case of Dimbokro (Côte d'Ivoire)»; Journal of Geoscience and Environment Protection, 2016, №4, 15-25; <https://doi.org/10.4236/gep.2016.48002>
44. Comité Inter Africain d'études Hydrauliques (CIEH); Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africaine; Ougadougou, Burkina Faso; Mars 1993
45. Кельцев Н. В., Основы адсорбционной техники. 2-е изд., перераб. и доп. – м., Химия, 1984. -592 с., ил.
46. Хартмут Кинле, Эрих Бадер; Активные угли и их промышленное применение; Ленинград. «Химия». Ленинградское отделение. 1984
47. Мухин В. М., Тарасов А. В., Клушин В. Н.; Активные угли России. Под общей редакцией проф. д-ра техн. Наук А. В. Тарасова.-М.: Металлургия, 2000.-352с.-65ил.- 191 табл. Сп. Лит-ры: 427 назв.
48. В. М. Мухин, В. Н. Клушин; Производство и применение углеродных адсорбентов: учеб. пособие. Российский химико-технологический университет им Д. И. Менделеева, Москва 2012. – 305с.
49. Юрьев Ю. Ю., Черкесов А. К., Щитов Д. В., Ибрагимова З. К., Сон В. В. Изучение сорбционных свойств минерального сырья, с целью получения на его

основе сорбента для опреснения высокоминерализованных вод поверхностных источников / Инженерный вестник Дона. 2015. № 1-1 (33). С. 51.

50. Первов А. Г.; Технологии очистки природных вод: Учебное издание. – М.: Издательство АСВ, 2016. 600 с.

51. Bamba Drissa; Elimination du diuron des eaux par des techniques utilisant les ressources naturelles de la Côte d'Ivoire: Photocatalyse solaire et charbon Actif de coques de noix de coco; Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire) et de Metz (France); Octobre 2007; p. 151

52. Mbaye Gueye; Développement de charbon actif à partir de biomasses lignocellulosiques pour des applications dans le traitement de l'eau; Thèse de Doctorat de l'Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), Ouagadougou; 2015, p. 229

53. Серпокрылов Н.С., Куасси Б.Г., Борисова В.Ю., Хайсерова Л.Я. Модификация скорлупы орехов кешью с целью получения сорбционного материала для очистки водных сред от ионов аммония/ В сборнике: технологии очистки воды «техновод-2016» - Материалы IX Международной научно-практической конференции. - 2016. С. 226-231.

54. Хлытина А. А., Матюшин А. А.; Поиск эффективных сорбентов путем определения их удельной адсорбции; TheJournalofscientificarticles “HealthandEducationMillennium”, Vol. 20. № 2; с. 93-97; 2018.

55. Paul Honoré Kalédia Ouattara, Marc Irié Gouli Bi, Urbain Kouakou, Ardjouma Dembele, Aboua Jacques Yapo, Albert Trokourey; Preparation and Characterization of Activated Carbons Based On Peanut Shell (*Arachis Hypogaea*) Green Soya Shell (*Vigna Radiata*); International Journal of Science and Research (IJSR), p. 933-937, Volume 3 Issue 7, July 2014

56. Бутырин Г. М. Высокопористые углеродные материалы. М.: Химия, 1976.

57. Шилина А. С., Милинчук В. К; Сорбционная очистка природных и промышленных вод от катионов тяжелых металлов и радионуклидов новым типом высокотемпературного алюмосиликатного адсорбента; Обнинский институт атомной энергетики - филиал «Национального исследовательского ядерного университета(МИФИ)», Обнинск; Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т.10. Вып. 2; с. 237-245

58. М. В. Куликова, А. Н. Романов; Разработка метода утилизации отработанных растительных сорбентов, использованных для очистки воды от нефтепродуктов; Ползуновский Вестник № 3/1, с. 214-216; 2012

59. М. А. Николаева, А. А. Пименов, Д. Е. Быков, А. В. Васильев, Доломитовая мука – новый сорбент для очистки нефтезагрязненных сточных вод, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 16, №1 (7), 2014

60. Лейкин Ю.А., Черкасова Т.А., Смагина Н.А; Саморегенерирующиеся сорбенты для очистки воды от нефтяных углеводородов; Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва; Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т.8. Вып.4; с. 585-599

61. Трусова Валентина Валерьевна, Очистка оборотных и сточных вод предприятий от нефтепродуктов сорбентом на основе бурых углей; Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук; Иркутский государственный технический университет, 2014; 132 с.

62. Половнева С. И., Ёлшин В. В., Носенко А. А.; Удельная поверхность активных углей в процессах десорбции и реактивации; Фундаментальные исследования № 2,с. 1187-1193, 2015

63. У. З. Шарафутдинов, Н. А. Колпакова, Б. Ф. Шашкин; Применение природных сорбентов для извлечения золота и серебра; Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов; 2 том 305; с. 118-125; 2002

64. Смирнов А. Д.; Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982- 162 с., ил.
65. Долина Л. Ф., Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. –Днепропетровск: Континент, 2008. с. 254
66. Е. С. Климов, М. В. Бузаева; Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2011. – с. 201
67. Кирсанов Михаил Павлович; Разработка и применение адсорбционных процессов в технологиях очистки сточных и природных вод от кислород-, азот- и хлорсодержащих органических соединений; Автореферат, диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук; Барнаул – 2007
68. В. А. Домрачева, Е. Н. Вещева; Модифицирование углеродных сорбентов для повышения эффективности извлечения тяжелых металлов из сточных вод и техногенных образований; Вестник ИрГТУ № 4 (44) 2010; с.134-138
69. М. В. Шулаев, Р. Р. Баширов, В. М. Емельянов; Исследование адсорбционной очистки сточных вод производства органического синтеза с использованием промышленного отхода перлита; Башкирский химический журнал. 2009. Том 16. № 3; с. 23-30
70. Т.А. Краснова, О. В. Беляева, М. П. Кирсанов; Использование активных углей в процессах водоподготовки и водоотведения; Техника и технология пищевых производств. №3, с. 1-11, 2012. № 3
71. Ульянова Виктория Валерьевна; Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов сорбентами на основе модифицированных отходов керамического производства и сельхозпереработки; Диссертация, кандидата технических наук; Саратов 2015; 142 с.

72. Е. Ю. Беляев, Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях; Химия растительного сырья. 2000. №2. С. 5–15.
73. Калицун В. И., Ласков Ю. М., Воронов Ю. В., Алексеев Е. В.; Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учеб. Пособие для вузов -3-е изд, перераб. И доп. -М.: Стройиздат, 2000. 272с.: ил.
74. Е. В. Вильсон; Теоретические основы очистки природных и сточных вод: Учебное пособие- Ростов -на -Дону: Ростовский государственный строительный университет; 2000. – 116 с.
75. Вильсон Е. В., Яковлева Е. В.; Физико-химические и микробиологические показатели качества природных и сточных вод: учеб. пособие / Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов -на -Дону, 2017.- 202 с.
76. Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев; Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006- 704 с.
77. Воронов Ю. В., Алексеев Е. В., Саломеев В. П., Пугачёв Е. А.; Водоотведение: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2008- 415с. – (Среднее профессиональное образование).
78. Гогина Елена Сергеевна, Удаление биогенных элементов из сточных вод: Монография / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т. –М.: МГСУ, 2010.- 120 с.
79. Алексеев Е. В.; Физико-химическая очистка сточных вод: Учебное пособие.– М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007.- 248 с.
80. Ф. Р. Спеллман; Справочник по очистке природных и сточных вод. Водоснабжение и канализация. Центр образовательных программ «Профессия», 2014.- 1312с., ил.
81. Ю. В. Воронов, Е. В. Алексеев, Е. А. Пугачев, В. П. Саломеев; Водоотведение; Издательство АСВ, Москва, 2014

82. А. Г. Первов; Технологии очистки природных вод: Учебное издание.- М.: Издательство АСВ, 2016. -600 с.
83. В. А. Перистый, Л.Ф. Перистая, И. В. Индина, М. Н. Япрынцев; сравнительная оценка сорбционной способности активированного угля и цитрогипса по отношению к нефтепродуктам; Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки; 11 (66) том 9-2; 2009, с. 90-94
84. Ibrahim Tchakala, Tomkouani Kodom, Mande Seyf-Laye Alfa-Sika, Moctar L. Bawa, Gbandin Djaneye-Boundjou; Traitement d'une eau naturelle polluée par adsorption sur du charbon actif (CAK) préparé à partir de tourteaux de karité; Déchets Sciences et Techniques - N°72 - Nov 2016;
<https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3497>
85. Catherine AYRAL; Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif; Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse (France); 2009; p. 186
86. Москвичева Е. В., Войтюк А. А., Доскина Э. П., Игнаткина Д.О., Юрьев Ю. Ю., Щитов Д. В. Совершенствование технологии очистки городских сточных вод с использованием сорбента на основе избыточного активного ила / Инженерный вестник Дона. 2015. № 2-2 (36). С. 28.
87. В. М. Мухин, П. В. Учанов; Получение активного угля на основе антрацита. Исследование его пористости и адсорбционных свойств; Успехи в химии и химической технологии. Том XXVII. 2013. №9
88. Н. Н. Абрамов; Водоснабжение. Учебник для вузов. Издание 2-е, переработанное и дополненное. Москва, Стройиздат, 1974. 480 с.;
89. И. В. Прозоров, Г. И. Николадзе, А. В. Минаев; Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учебное пособие для строит. Спец. Вузов. – Москве.: Высшая школа. 1990.- 448с.: ил.

90. Одинцова Мария Викторовна, Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из скорлупы кедровых орехов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук: Тюмень: ТГУ, 2010.
91. Фрог Б. Н., Левченко А. П.; Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М. Издательство МГУ, 1996 г. 680 с; 178 ил.; ISBN 5-274-01420-8
92. Павлинова Ирина Игоревна, Баженов Виктор Иванович, Губий Иван Гаврилович; Водоснабжение и водоотведение: учебник для бакалавров/ 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство Юрайт, 2013.- 472 с.
93. Degremont; Технический справочник по обработке воды, Memento technique de l'eau 10-е издание: Том 2; Санкт-Петербург 2007
94. Рябчиков Б. Е., Современная водоподготовка. – Москва: ДаЛи плюс, 2013.-680с.
95. Староверов С. В., Юдин Р. И.; Сорбенты для обезжелезивания артезианских вод; Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г.Шухова, Белгород, Костюкова 46, 308012; SWold- 17-26 December 2013.
96. A. Kim and N. Chernikov. Water Qualite Improvement by Additional Filtering through Sorption Loading Modified by Fullerenes / Applied Mechanics and Materials, Volume 725-726, Pages 1338-1343, 2015.
97. Формазюк Надежда Ивановна; Разработка технологии извлечения тяжелых цветных металлов из промышленных стоков с использованием композиционного сорбента; Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; Екатеринбург - 2007г.
98. Ouakouak. Ak, Youcef L.; Adsorption des ions Cu^{2+} sur un charbon actif en poudre et une bentonite sodique; Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, №27, Sept 2016, pp. 39-61
99. G. Mimanne, K. Benhabib, A. Benghalem, S. Taleb; Etude de l'Adsorption des Métaux Lourds (Pb et Cd) en Solution Aqueuse sur Charbon Actif et

Montmorillonite Sodée de l'Ouest Algérien (Study of the Adsorption of Heavy Metals (Pb and Cd) in Aqueous Solution on Activated Carbon and Sodium Montmorillonite from Western Algeria); J. Mater. Environ. Sci. 5 (4) (2014), pp. 1298-1307; ISSN: 2028-2508; CODEN: JMESCN

100. И. В. Шевелева, А. Н. Холомейдик, А. В. Войт, Л. А. Земнухова; И. В. Шевелева, А. Н. Холомейдик, А. В. Войт, Л. А. Земнухова; сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) из растворов; Химия растительного сырья . 2009. №4. С. 171–176.

101. Э. Т. Ямансарова, Н. В. Громыко, М. И. Абдуллин, О. С. Куковинец, О. Б. Зворыгина; Исследование сорбционных свойств материалов на основе растительного сырья по отношению к органическим и неорганическим примесям; Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. №1; с. 73-77

102. Д. Е. Смальченко, Н. Г. Габрук, Е. А. Гудкова, D. E. Smalchenko, N.G. Gabruk, E. A. Gudkova; Влияние величины электрокинетического потенциала модифицированных углеродных сорбентов на сорбционную способность к ионам Fe (III); НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ, Серия: Естественные науки. 2017. № 18 (267), выпуск 40, с. 21-26.

103. Ямансарова Э. Т., Громыко Н. В., Хасанова Д. Н., Абдуллин М. И.; Перспектива применения новых сорбционных материалов для улучшения экологического состояния водных ресурсов; Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент»; № 1, 2015

104. Е. В. Дербишер, М. В. Черткова, Е. Н. Овдиенко, Р. И. Габитов, В. Е. Дербишер; Сорбенты с гидразидными фрагментами из вторичных полимеров; Известия вузов. Северо-кавказский регион. Естественные науки. 2011. № 6

105. Е. В. Кондратюк, А. В. Панасенко, Л. Ф. Комарова; Получение сорбента на основе модифицированных базальтовых волокон и исследование его свойств в процессе очистки артезианских вод от соединений железа и марганца; с. 361-364; Ползуновский Вестник № 3 2009

106. Погорелов М. В., Гусак Е. В., Бабич И. М., Калинкевич О. В., Калинкевич А. Н., Самохвалов И. И., Данильченко С. Н., Скляр А. М.; Погорелов М. В., Гусак Е. В., Бабич И. М.; Сорбция ионов металлов материалами на основе хитозана; J. Clin. Exp. Med. Res., 2014; 2(1):88-99

107. Латыпова Флюря Мирсаетовна, Арасланова Ляйсан Хадисовна, Лукманов Ильдар Ильгизович, Гараньков Иван Николаевич; Исследование адсорбционных свойств природных сорбентов для очистки сточных вод; Булатовские чтения, сборник статей – 2018, с 155-158

108. Кормош Екатерина Викторовна, Золотых Ольга Михайловна, Абраменко Людмила Ивановна; Испытания опытно-промышленных глинистых сорбентов на сточных водах промышленных предприятий; Технические науки, Научный альманах 2015 №11-3(13), с 225-228

109. Н. А. Бабак, О. А. Капустина; Технологии локализации негативного техногенного воздействия на окружающую среду; Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности"; с.1-7; Выпуск № 3 (55), 2014г.

110. Alemayehu Abebaw Mengistie, T. Siva Rao, A. V. Prasada Rao; Adsorption Of Mn (II) Ions From Wastewater Using Activated Carbon Obtained From Birbira (Militia Ferruginea) Leaves; Global Journal of Science Frontier Research Chemistry Volume 12 Issue 1 Version 1.0 January 2012; p. 4-12

111. Мухин В. М., Учанов П. В., Сотникова Н. И., «Разработка технологии получения активного угля на основе антрацита и исследование его свойств»; УДК 543; Сорбционные и хроматографические процессы, с. 83-90, 2013г. Т. 13. Вып. 1.

112. Павленко Владимир Валерьевич; Синтез и использование многофункциональных углеродных наноструктурированных материалов на основе растительной клетчатки; Диссертация на соискание учёной степени доктора философии (pHD): Казахский национальный университет имени аль-Фраби, 2014 г.; 129 с.

113. Т. М. Рощина, Адсорбционные явления и поверхность; Московский государственный Университет им. М. В. Ломоносова; Соросовский образовательный журнал № 2, 1998г.

114. Ю. А. Горбатенко, Адсорбция примесей токсичного газа из загрязненного воздуха, Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплинам «Технология рекуперации газовых выбросов» для студентов очной и заочной форм обучения направления 280700 «Техносферная безопасность» и 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»; Екатеринбург 2014 г.

115. Комаров В. С., Адсорбенты и их свойства. Минск издательство, «Наука и техника» 1977, 248 с.

116. Grah Patrick Atheba, Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif: conception et réalisation du procédé; Thèse de Docteur de l'Université Paul Verlaine, Metz (France); 18 décembre 2009, p. 191

117. Карнаухов А. П., Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. - 470 с.

118. И. А. Никифоров; Адсорбционные методы в экологии; Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского; 2011; стр. 4

119. Н. А. Макаревич, Н. И. Богданович; Теоретические основы адсорбции, Учебное пособие; Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»; 2015 г.

120. И. В. Романцова, А. Е. Бураков, А. Е. Кучерова; Изучение кинетики процесса жидкофазной адсорбции органических веществ на гибридных наноструктурированных углеродных сорбентах; Конференция «Современные наукоемкие инновационные технологии», 2-4 декабря 2014 г.; Тамбовский государственный технический университет

121. Белецкая Марина Геннадьевна; Синтез углеродных адсорбентов методом термохимической активации гидролизного лигнина с использованием гидроксида натрия; диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова. 2014 г.; 153 с.

122. Юрьев Юрий Леонидович, Совершенствование производства углеродных материалов на основе березовой древесины»; Диссертация на соискание ученой степени доктор технических наук ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет; Екатеринбург 2014 г.; 256 с.

123. Белогорлов А. А., Тронин И. В. Исследование пористых систем методом адсорбции: Лабораторная работа. М.: Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Москва 2008. –28с.

124. Sekirifa Mohamed L.; Étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux; Thèse de Doctorat de l'Université Badji Mokhtar-Annaba; 2013. p. 98

125. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость, Мир, М., 1984. 306с.

126. Elena Fernabdez Ibañez, Étude de la carbonisation et l'activation de procureur végétaux durs et mous; Thèse de Doctorat de l'Université de Granada, 2002, p. 146

127. В. Б. Фенелонов, Пористый углерод, Новосибирск, 1995.-518с.: ил.

128. Reffas Abdelbaki; Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et Bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du Marc de café; Thèse de Doctorat de l'Université Mentouri-Constatine, 2010, p. 153

129. М. А. Передерий, Ю. И. Кураков, И. Н. Маликов; [монография], Адсорбенты на основе углеродсодержащих материалов; Москва: ЗАО Metallurgizdat, 2014. -312 с.

130. N'Guessan Joachim Krou; Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques; Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse; Mars 2010; p. 202

131. Peter Klobes, Klaus Meyer, Ronald G. Munro; «Porosity and Specific Surface Area Measurements for Solid Materials»; September 2006; National Institute of Standards and Technology

132. Horvath, G. and K. J. Kawazoe, "Method for the Calculation of Effective Pore Size Distribution in Molecular Sieve Carbon," J. Chem Eng. Japan 16 (1983) 470-475

133. Horvath, G., "Energetic interactions in phase and molecular level pore characterization in nano-range," Colloids & Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 141 (1998) 295-304.

134. Волкова Анна Владимировна, «Исследование структуры углеродных нанотрубок и оксидных наноматериалов, имеющих поры с осевой симметрией, с использованием адсорбции азота»; Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук: Национальный Исследовательский Университет, Московский Институт Электронной Техники (Россия); 2015 г. с. 125

135. J. H. de Boer; B. C. Lippens; B. G. Linsen; J. C. P. Broekhoff, A. van den Heuvel, and Th. J. Osinga; The t-Curve of Multimolecular N₂-Adsorption; Journal of Colloid and Interface Science (21) № 4, 1966, p.405-414

136. S. J. Gregg; K. S. Sing (1982), Adsorption surface area and Porosity, 2nd edition, Academic Press Inc., London, 111- 190

137. А. С. Вячеславов, Е. А. Померанцева; Измерение площади поверхности и пористости методом капиллярной конденсации азота; Методическая разработка; московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет наук о материалах, Москва 2006

138. S. Hashemian, K. Salari, Z. A. Yazdi. Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous

solution. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2014. No 20. p. 1892-1900; <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.09.009>

139. ГОСТ 17818.6- 90, Метод определения концентрации водородных ионов (pH) водной суспензии и водной вытяжки

140. ГОСТ 6217-77, Уголь активный древесный дробленый. Технические условия

141. ГОСТ 4457-74, Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия

142. RajeshwariSivaraj, VenckateshRajendranandG. SangeethaGunalan. Preparation and Characterization of Activated Carbons from Parthenium Biomass by Physical and Chemical Activation Techniques. Coden ecjhao. E-Journal of Chemistry, 2010. No. 7(4). p. 1314-1319; <https://doi.org/10.1155/2010/948015>

143. Киселев А. В., Методы исследования структуры высокодисперсных и пористых тел. - М.: Изд-во АН СССР, 1953. - С. 86

144. Н. Е. Буянова, А. П. Карнаухов, Ю. А. Алабужев; Определение удельной поверхности дисперсных и пористых материалов; Новосибирск - 1878.

145. Nicolas Kania; Utilisations de charbons actifs dans des procédés d'adsorption de composés organiques volatils et des procédés de catalyse dans l'eau; Thèse de Doctorat de l'Université d'Artois, 2010; p. 153

146. Л. М. Ковба, В. К. Трунов; Рентгенофазовый анализ; Издательство Московского Университета, 1976 г.

147. Уманский Я. С., Рентгенография металлов и полупроводников. М.: Металлургия, Москва, 1969. – 496с.

148. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А., Рентгенографический и электроннооптический анализ. М.: Металлургия, Москва 1970г.

149. В. А. Асеев, В. М. Золотарев, Н. В. Никоноров; Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники; учебное пособие; СПб: Изд-во Университета ИТМО, Санкт-Петербург, 2015. -130 с.

150. Belkedir Zohra, Valorisation des dechert agro-alimentaires cas des grignons d'olive; Mémoire de Master de l'Universite M'Hamed Bougara –Boumerds, 2007. p. 86

151. К. М. Текуева, В. Н. Клушин, О. В. Антипова; Экспериментальная оценка рациональных условий получения активных углей из фрагментов косточек абрикосов и персиков – отходов пищевых предприятий республики кабардино-балкария; Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия; Успехи в химии и химической технологии. Том XXVII. 2013. № 9

152. В. Ф. Олонцев, Е. А. Фарберова, А. А. Минькова, К. Н. Генералова, К. С. Белоусов; Оптимизация пористой структуры активированных углей в процессе технологического производства; Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия; Вестник ПНИПУ, Химическая технология и биотехнология № 4, 2015

153. М. В. Провоторов, Е. Н. Бобылева; Исследование возможности создания малозольных адсорбционных углеродных фильтров; Химия и экология №6, с.65-69, июнь 2011 г.

154. Н. В. Чесноков, Б. Н. Кузнецов, Ф. Лоро, В. Клозе, А. Шинкель; Особенности пиролиза древесины лиственницы и свойства получаемых углей; Хвойные бореальной зоны. 2003. Выпуск I.

155. Горина В. А., Чеблакова Е. Г. Влияние режимов активации на удельную поверхность и развитие микропористой структуры углеродных волокон на основе вискозы // Известия вузов Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2015. №.4. С.34-39. DOI:dx. doi.org/10.17073/1997-308X-2015-4-34-39.

156. М. М. Дубинин, Физико-химические основы сорбционной техники. М.-Л., ОНТИ, Государственное химико-техническое издательство Москва-Ленинград, 1932. 381 с.

157. Домрачева Валентина Андреевна, Шийрав Гандандорж; Получение и исследование сорбентов на основе ископаемых углей монгольских месторождений; Вестник Иргту №7 (54) 2011. С 73-79
158. Б. Н. Кузнецов, Ю. Г. Головин, В. В. Головина, А. О. Еремина, В. А. Левданский; Получение углеродных адсорбентов из продуктов экстракционной переработки коры лиственницы сибирской; Химия растительного сырья . 2002. №2. С. 57–61.
159. Головин, В. В. Головина, А. О. Еремина, В. А. Левданский; Получение углеродных адсорбентов из продуктов экстракционной переработки коры лиственницы сибирской; Химия растительного сырья . 2002. №2. С. 57–61.
160. Huang Yaji, JIN Baosheng, Zhong Zhaoping, Zhong Wenqi, Xiao Rui; Characteristic and mercury adsorption of activated carbon produced by CO₂ of chicken waste; Journal of Environmental Sciences 20(2008) 291–296
161. Чухарева Наталья Вячеславона, Маслов Станислав Григорьевич; Адсорбционные свойства термически модифицированного торфа и полученных на его основе активных углей; Химия растительного сырья 2011. № 1. С.169-174.
162. К. Б. Оффан, В. С. Петров, А. А. Ефремов; Закономерности пиролиза скорлупы кедровых орехов с образованием древесного угля в интервале температур 200–500°C; Химия растительного сырья. 1999. №2. С. 61–64.
163. Kouadio N'Da Arsène, Drissa Ouattara Kra, Grah Patrick Atheba, Patrick Drogui, and Albert Trokourey; Degré d'activation, surface spécifique et fonctions de surfaces de charbons actifs d'Acacia auriculaeformis et d'Acacia mangium; International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 20, № 2 May. 2017, pp. 568-574
164. Lua, A.C. and T. Yang, Effects of vacuum pyrolysis conditions on the characteristics of activated carbons derived from pistachio-nut shells. Journal of Colloid and Interface Science, 2004. 276(2): p. 364-372.

165. Mbaye Gueye, «Synthèse et étude des charbons actifs Pour le traitement des eaux usées d'une tannerie» Mémoire de master de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE); Burkina, Ouagadougou; 2009, p. 52
166. Н. В. Чесноков, Н. М. Микова, И. П. Иванов, Б. Н. Кузнецов; Получение углеродных сорбентов химической модификацией ископаемых углей и растительной биомассы; УДК 661.183:665.7.032.5; Journal of Siberian Federal University. Chemistry 1 (2014 7) 42-53
167. Drissa Bamba, Bini Dongui, Albert Trokourey, Guessan Elogne Zoro, Grah Patrick Athéba, Didier Robert, Jean Victor Wéber; Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivie d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron; J. Soc. Ouest-Afr. Chim (2009) 028; 41- 52.
168. A. Lefebvre; l'anacardier, une richesse de Madagascar ; Fruits -Vol. 24, №1, p 43-61; 1969
169. Emmanuelle Lautié, Manuel Dorniera, M. de Souza Filhoc, Max Reynesa; Les produits de l'anacardier: caractéristiques, voies de valorisation et marchés; Fruits, 2001, vol. 56, p. 235–248; <https://doi.org/10.1051/fruits:2001126>
170. Eric J. Lacroix, Les anacardiés, les noix de cajou et la filière anacarde à Bassila et au Bénin; République du Bénin, Projet Restauration des Ressources Forestières de Bassila; Les anacardiés à Bassila; GFA terra systems, Avril 2003
171. Djaha Akadie, N'Da Adopo A., Hala N'Klo, Edo Koffi, N'Guessan Angelo; Bien cultiver l'anacardier en Cote d'Ivoire; Centre national de recherche agronomique (CNRA), Octobre 2008.
172. Wilson, L., et al., Thermal characterization of tropical biomass feedstocks. Energy Conversion and Management, 2011. 52.
173. Tsamba, A. J., W. Yang, and W. Blasiak, Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. Fuel Processing Technology, 2006. 87(6): p. 523-530.

174. Tsamba, A. J., et al., Cashew Nut Shells Pyrolysis: Individual Gas Evolution Rates and Yields. *Energy & Fuels*, 2007. 21: p. 2357-2362.
175. Tipayawong, N., et al., Gasification of cashew nut shells for thermal application in local food processing factory *Energy for Sustainable Development*, 2011. 15: p. 69-72.
176. Das, P. and A. Ganesh, Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shells near fuel. *Biomass and Bioenergy*, 2003. 25(1): p. 113-117.
177. Mohod, A., S. Jain, and A. Powar, Cashew Nut Shell Waste: Availability in Small-Scale Cashew Processing Industries and Its Fuel Properties for Gasification. *International Scholarly Research Network ISRN Renewable Energy*, 2011.
178. Singh, R. N., et al., Feasibility study of cashew nut shells as an open core gasifier feedstock. *Renewable Energy*, 2006. 31(4): p. 481-487.
179. Mohod, A. G., Y. P. Khandetod, and A. G. Powar, Processed cashew shellwaste as fuel supplement for heat generation. *Energy for Sustainable Development*, 2008. 12(4): p. 73-76.
180. Setianto W. B., Yoshikawa S, Smith Jr. R. L., Inomata H, Florusse L. J., Peters C. J., Pressure profile separation of phenol c liquid compounds from cashew (*Anacardium occidentale*) shell with supercritical carbon dioxide and aspects of its phase equilibria // *Journal of Supercritical Fluids* . 2009. Vol. 48. p. 203–210; <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.11.018>
181. Smith Jr. R. L., Malaluan R. M., Setianto W. B., Inomata H., Arai K.; Separation of cashew (*Anacardium Occidentale* L.) nut shell liquid with supercritical carbon dioxide // *Bioresour Technol.* 2003 No 88(1). p.1-7; [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00271-7](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00271-7)
182. Gedam P. H., Sampathkumaran P. S.; Cashew Nut Shell Liquid: extraction, chemistry and applications. *Prog Org Coat* 14: (1986) p. 115–157; [https://doi.org/10.1016/0033-0655\(86\)80009-7](https://doi.org/10.1016/0033-0655(86)80009-7)

183. ГОСТ 22692-77, Материалы углеродные. Метод определения зольности

184. ГОСТ 16190-70, Сорбенты. Метод определения насыпной плотности

185. ГОСТ 51641-2000, Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия

186. Бахтина И. А., Проектирование и расчёт очистных сооружений водопровода: учебное пособие / И.А.Бахтина: Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. - 257 с.

187. В. В. Кулаков, Е. В. Сошников, Г. П. Чайковский; Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Учебное пособие-Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 1998 г., 100с.

188. Т. И. Халтурина, О. В. Чурбакова; Водоотводящие системы промышленных предприятий; Учебное пособие по циклу практических занятий; Сибирский федеральный университет, институт градостроительства управления и региональной экономики; Красноярск 2008; 126с.

189. ООО «Технокомплекс» 344038, г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 14 "Г"; Тел./факс: +7 (863) 201-06-06, +7 (863) 201-06-16

<http://www.tkomplex.ru/ru/equipment/drum-furnaces/quark-500>

ПРИЛОЖЕНИЯ

СООРУЖЕНИЯ НА СТАНЦИИ ОЧИСКИ ВОДЫ Г. ДИМБОКРО (КОТ Д'ИВУАР)

FLOCULATEUR				
Nombre	Type	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Temps de séjour (min)
2	avec hélices	14x2	38 x2	39
DECANTEUR				
Nombre	Type	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Vitesse ascensionnelle (m/h)
2	statique	118 x 2	318 x 2	0,50
FILTRES				
Nombre	Type	Surface (m ²)	Hauteur sable (m)	Vitesse de filtration (m/h)
4	A sable	15 x 4	0,49; 0,70; 0,39 et 0,49	1,95
BACHE DE STOCKAGE				
nombre	volume			
2	Une grande bache de 400 m ³ et une petite bache de 30 m ³			

РАСЧЕТ ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ ВОДЫ В ОТСТОЙНИКЕ НА СТАНЦИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ Г. ДИМБОКРО (КОТ Д' ИВУАР)

Зная скорость осаждения хлопья в отстойнике 0,5м/ч (предложение 1). Так как можно определить время пребывания воды в отстойнике по формуле:

$t = \frac{L}{v}$, где $L = 16,35\text{м}$ - длина отстойника; v - скорости горизонтального движения воды в начале отстойника.

Зная что: $L = \frac{h * v}{u}$, где $h = 2,4\text{м}$ – глубина зоны осаждения отстойника; $u = 0,5\text{м/ч}$ – скорость осаждения (предложение 1);

$$\text{Из формулы } (L = \frac{h * v}{u}), \text{ следует } v = \frac{L * u}{h} = \frac{16,35 * 0,5}{2,4} = 3,406\text{м/ч}$$

Подставляя значение v в формулу $L = \frac{h * v}{u}$, получим время пребывания воды в отстойнике $t = \frac{16,35}{3,406} = 4,80\text{ч} = 288\text{мин}$.

БЕРЕГОВАЯ НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ ГОРОДА ДИМБОКРО (КОТ Д' ИВУАР)



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП

Протокол испытания №- ИЦ-76-Г-947-2017 25.12.2017 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИГрафит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Протокол испытания

№ ИЦ-76-Г-947-2017 от «25» декабря 2017 года

Определение функциональных групп

- 1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону
- 2 Номер заявки (договора) Сч. 863 от 16.11.2017 г.
- 3 Объект (материал) испытания Углеродный материал
- 4 Отбор образцов произведен заказчиком
- 5 Количество образцов и их идентификация 1 обр., ИЦ/947/17-1
- 6 Испытание проведено по методике выполнения измерений МИ 00200851-331-2010
- 7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний согласно методике
- 8 Тип образца для испытаний порошок
- 9 Средства измерений и испытательное оборудование весы электронные ViBra (Япония), иономер АНИОН 7010
- 10 Параметры испытания Тк = 22°C
- 11 Результаты испытаний

Маркировка образца	Сумма карбоксильных и фенольных групп, мг-экв/г	Карбоксильные группы, мг-экв/г	Карбонильные группы, мг-экв/г
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T=800°C	0,00	0	0,8

Протокол испытания №- ИЦ-76-Г-947-2017 25.12.2017 страница 2 всего страниц 2

12 После испытаний образцы Оставлены в Испытательном центре
(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по испытаниям в таблице

14 Испытания проводил н.с. Малинина Ю.А. 25.12.2017 [подпись]
(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.



Чеблакова Е.Г.

Приложение Д

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА, АЗОТА, ВОДОРОДА

Протокол испытания №- ИЦ-76-ЭА-963-2018 27.03.2018 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИграфит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Лаборатория физико-химических методов исследования

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «4» июля 2021 г.

Протокол испытания

№ ИЦ-76-ЭА-963-2018 от «27» марта 2018 года

Определение содержания углерода, азота, водорода

1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону

2 Номер заявки (договора) Сч. 178 от 12.03.2018 г.

3 Объект (материал) испытания Карбонизат скорлупы ореха анакарда

4 Отбор образцов произведен заказчиком

5 Количество образцов и их идентификация 4 обр., ИЦ/963/18 – 1÷4

6 Испытание проведено по методике выполнения измерений МИ 00200851-321-2008

7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний по методике

8 Тип образца для испытаний порошок

9 Средства измерений и испытательное оборудование Элементный анализатор EURO EA 3000 (Италия), электронные весы Sartorius CP-2P (Германия)

10 Параметры испытания Tк = 19°C

11. Результаты испытаний

Образец	Азот, % масс.	Углерод, % масс.	Водород, % масс.
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C	1,30±0,03	82,40±0,5	1,20±0,02
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C, активирован 30 мин при 400 °C	1,66±0,03	81,50±0,5	1,90±0,02
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C, активирован 30 мин при 600 °C	1,37±0,03	82,00±0,5	1,71±0,02
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C, активирован 30 мин при 700 °C	1,20±0,03	79,70±0,5	1,70±0,02

Окончание приложения Д

Протокол испытания №- ИЦ-76-ЭА-963-2018 27.03.2018 страница 2 всего страниц 2

12 После испытаний образцы _____ Оставлены в Испытательном центре
(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по испытаниям _____

14 Испытания проводил _____ н.с. Юдина Т.В.
(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

Т.В. Юдина 27.03.2018

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.



Чеблакова Е.Г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Протокол испытания №- ИЦ-76-СА-962-2018 27.03.2018 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр углеродных материалов

АО «НИИГрафит»

111524, Москва, ул. Электродная, д. 2, т. 495 672 7577

Лаборатория физико-химических методов исследования

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «04» июля 2021

Протокол испытания

№ ИЦ-76-СА-962-2018 от «27» марта 2018 года

Определение содержания элементов

- 1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону
- 2 Номер заявки (договора) Сч. 178 от 12.03.2018 г.
- 3 Объект (материал) испытания Карбонизат скорлупы ореха анакарда
- 4 Отбор образцов произведен заказчиком
- 5 Количество образцов и их идентификация 4 обр., ИЦ/962/18 – 1÷4
- 6 Испытание проведено по методике выполнения измерений МИ 00200851-336-2007
- 7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний по методике
- 8 Тип образца для испытаний порошок
- 9 Средства измерений и испытательное оборудование Спектрограф ДФС-8, сопряженный с фотоэлектронной кассетой ФЭК-6/3648/БМЗ и ПК программа SM 2008), весы торсионные типа ВТ
- 10 Параметры испытания Т комн. = 21 °С, влажность – 68%

11 Результаты испытаний – представлены в таблице

Среднее из трех измерений.

Абсолютная погрешность составляет $1,0 \cdot 10^{-5} \div 2,9 \cdot 10^{-2} \% \text{ масс}$

Таблица – содержание элементов, % масс.

Образец	Al	B	Fe	Si	Mg	Ca	Co	Cr	Mo
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C .Активирован 30 мин при 400°C	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$

Окончание приложения Е

Протокол испытания №- ИЦ-76-СА-962-2018 27.03.2018 страница 2 всего страниц 2

Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C. Активирован 30 мин при 600°C	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C. Активирован 30 мин при 700°C	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$

Продолжение таблицы

Образец	Ti	Mn	Cu	Cd	Ni	Pb	V	Сумма примесей
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C Активирован 30 мин при 400°C	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C. Активирован 30 мин при 600°C	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда T=800°C. Активирован 30 мин при 700°C	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$<1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$

12 После испытаний образцы

Оставлены в Испытательном центре

(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по
испытаниям

14 Испытания проводил

н.с. Клеусов Б.С.

(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия
Испытательного Центра.

- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.



Чеблакова Е.Г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ

Протокол испытания №- ИЦ-76-Г-961-2018 27.03.2018 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИГрафит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Лаборатория физико-химических методов исследования

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «4» июля 2021г.

Протокол испытания № ИЦ-76-Г-961-2018 от «27» марта 2018 года

Определение концентрации водородных ионов водной вытяжки

- 1 Заказчик _____ Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону
- 2 Номер заявки (договора) _____ Сч. 73 от 29.01.2018 г.
- 3 Объект (материал) испытания _____ Карбонизат скорлупы ореха анакарда
- 4 Отбор образцов произведен _____ заказчиком
- 5 Количество образцов и их идентификация _____ 4обр., ИЦ/961/18-1÷4
- 6 Испытание проведено по методике выполнения измерений _____ ГОСТ 17818.6-90
- 7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний _____ согласно ГОСТ
- 8 Тип образца для испытаний _____ согласно ГОСТ
- 9 Средства измерений и испытательное оборудование _____ весы электронные ViBra (Япония), иономер АНИОН 7010
- 10 Параметры испытания _____ Тк = 21°C
- 11 Результаты испытаний

Маркировка образца	Концентрация водородных ионов - pH
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при Т = 800 °C	10,50
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при Т = 800 °C, активирован 30 мин при 400 °C	10,52
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при Т = 800 °C, активирован 30 мин при 600 °C	11,01
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при Т = 800 °C, активирован 30 мин при 700 °C	10,99

Протокол испытания №- ИЦ-76-Г-961-2018 27.03.2018 страница 2 всего страниц 2

12 После испытаний образцы Оставлены в Испытательном центре
(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по испытаниям в таблице

14 Испытания проводил н.с. Малинина Ю.А. 27.03.2018 Ю.Малинина
(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.



Чеблакова Е.Г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛЬНОСТИ

Протокол испытания №- ИЦ-76-3-958-2018 12.03.2018 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИГрафит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «4» июля 2021г.

Протокол испытания

№ ИЦ-76-3-958-2018 от «12» марта 2018 года

Определение зольности

- 1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону
- 2 Номер заявки (договора) Сч. 73 от 29.01.2018 г.
- 3 Объект (материал) испытания Карбонизат скорлупы ореха анакарда
- 4 Отбор образцов произведен заказчиком
- 5 Количество образцов и их идентификация 4 обр., ИЦ/958/18-1÷4
- 6 Испытание проведено по методике выполнения измерений ГОСТ 22692
- 7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний ГОСТ 22692
- 8 Тип образца для испытаний ГОСТ 22692
- 9 Средства измерений и испытательное оборудование весы электронные Ohaus AV-264C, электропечь лабораторная СНОЛ -8.2/11-1100 (Литва)
- 10 Параметры испытания Температура печи = 850°C
- 11 Результаты испытаний

Маркировка образца	Содержание золы, %
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C	6,60
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C, активирован 30 мин при 400 °C	5,66
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C, активирован 30 мин при 600 °C	6,29
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при T = 800 °C, активирован 30 мин при 700 °C	7,31

Окончание приложения 3

Протокол испытания №- ИЦ-76-3-958-2018 12.03.2018 страница 2 всего страниц 2

12 После испытаний образцы Оставлены в Испытательном центре
(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по испытаниям в таблице

14 Испытания проводил инж. Галицкая В.О.

В.О. Галицкая 12.03.2018
(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.



Чемлакова Е.Г.

Приложение И

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЗОПОР И МИКРОПОР

Протокол испытания №- ИЦ-76-УП-951-2018 29.01.2018 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИграфит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «4» июля 2021г.

Протокол испытания № ИЦ-76-УП-951-2018 от «29» января 2018 года

Определение удельной поверхности, распределения мезопор и микропор по размерам

- 1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону
- 2 Номер заявки (договора) Сч. 2 от 10.01.2018 г.
- 3 Объект (материал) испытания Углеродный материал
- 4 Отбор образцов произведен заказчиком
- 5 Количество образцов и их идентификация 3 обр., ИЦ/951/18-1÷3
- 6 Испытание проведено по методике выполнения измерений МИ 00200851– 353– 2014
МИ 00200851– 354– 2014, МИ 00200851– 355– 2014
- 7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний согласно методикам
- 8 Тип образца для испытаний порошок
- 9 Средства измерений и испытательное оборудование автоматизированная система
ASAP 2020, фирма Micromeritics (США), весы электронные Sartorius LP-620 S
- 10 Параметры испытания $T_k = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 11 Результаты испытаний

Таблица 1 – характеристики пористой структуры

Характеристика материала	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Относительный объем пор диаметром до 500 $\text{\AA}$, $\text{см}^3/\text{г}$	Средний диаметр пор по адсорбции, $\text{\AA}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда $T_k = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ Активация $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 мин	45,3±1,3	0,035	42
Карбонизат скорлупы ореха анакарда $T_k = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ Активация $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 мин	165,7±4,6	0,098	35
Карбонизат скорлупы ореха анакарда $T_k = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ Активация $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 мин	316,6±11,0	0,183	39

Протокол испытания №- ИЦ-76-УП-951-2018 29.01.2018 страница 2 всего страниц 2

Таблица 2 – характеристики микропористой структуры

Характеристика материала	Объем микропор, см ³ /г	Средний диаметр микропор, Å
Карбонизат скорлупы ореха анакарда Тк.= 800 °С .Активация T=400 °С 30 мин	0,012	3,9
Карбонизат скорлупы ореха анакарда Тк.= 800 °С .Активация T=600 °С 30 мин	0,072	3,5
Карбонизат скорлупы ореха анакарда Тк.= 800 °С .Активация T=700 °С 30 мин	0,140	3,4

12 После испытаний образцы _____ Оставлены в Испытательном центре
(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по испытаниям _____ Техническая справка по испытаниям прилагается

14 Испытания проводил _____ н.с. Горина В.А. 29.01.2018, Кор-
(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра
К.Т.Н., С.Н.С.



Чеблакова Е.Г.

Приложение К

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА (РФА)

Протокол испытания №- ИЦ-76-СА-939-2017 29.11.2017 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИграфит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «4» июля 2021г.

Протокол испытания

№ ИЦ-76-СА-939-2017 от «29» ноября 2017 года

Рентгенофазовый анализ

- 1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону
- 2 Номер заявки (договора) Сч. 863 от 16.11.2017 г.
- 3 Объект (материал) испытания Углеродный материал
- 4 Отбор образцов произведен Заказчиком
- 5 Количество образцов и их идентификация 1 обр., ИЦ/939/17 – 1
- 6 Испытание проведено по методике выполнения измерений МИ 00200851-343-2011
- 7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний согласно методике
- 8 Тип образца для испытаний порошок
- 9 Средства измерений и испытательное оборудование порошковый дифрактометр D8 Advance, фирмы Bruker (Германия)
- 10 Параметры испытания Параметры съемки: медное излучение с длиной волны $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, шаг сканирования $0,02^\circ$, скорость сканирования 2 град/мин
- 11 Результаты испытаний

Маркировка образца	$d_{002}, \text{ \AA}$	$g, \%$	$L, \text{ нм}$
Карбонизат скорлупы ореха анакарда при $T=800^\circ\text{C}$	3,965	<0	0,8

Расстояние между графитовыми плоскостями d_{002} .
Размеры кристаллитов рассчитываются по формуле Селякова- Шеррера

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

где L - размер кристаллитов; β – полуширина рефлекса; $k=0,89$.

Степень графитации рассчитывается по формуле:

$$g = \frac{d_m - d_{002}}{d_m - d_{np}} = \frac{3,44 - d_{002}}{0,086}$$

Продолжение приложения К

Протокол испытания №- ИЦ-76-СА-939-2017 29.11.2017 страница 2 всего страниц 2

где d_t – межплоскостное расстояние турбостратного графита,
 d_{np} – межплоскостное расстояние природного графита,
 d_{002} – межплоскостное расстояние исследуемого углеродного материала.

Отснятые дифрактограммы представлены Заказчику в электронном виде и отправлены по электронной почте.

12 После испытаний образцы

Оставлены в Испытательном центре
(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по испытаниям

14 Испытания проводил

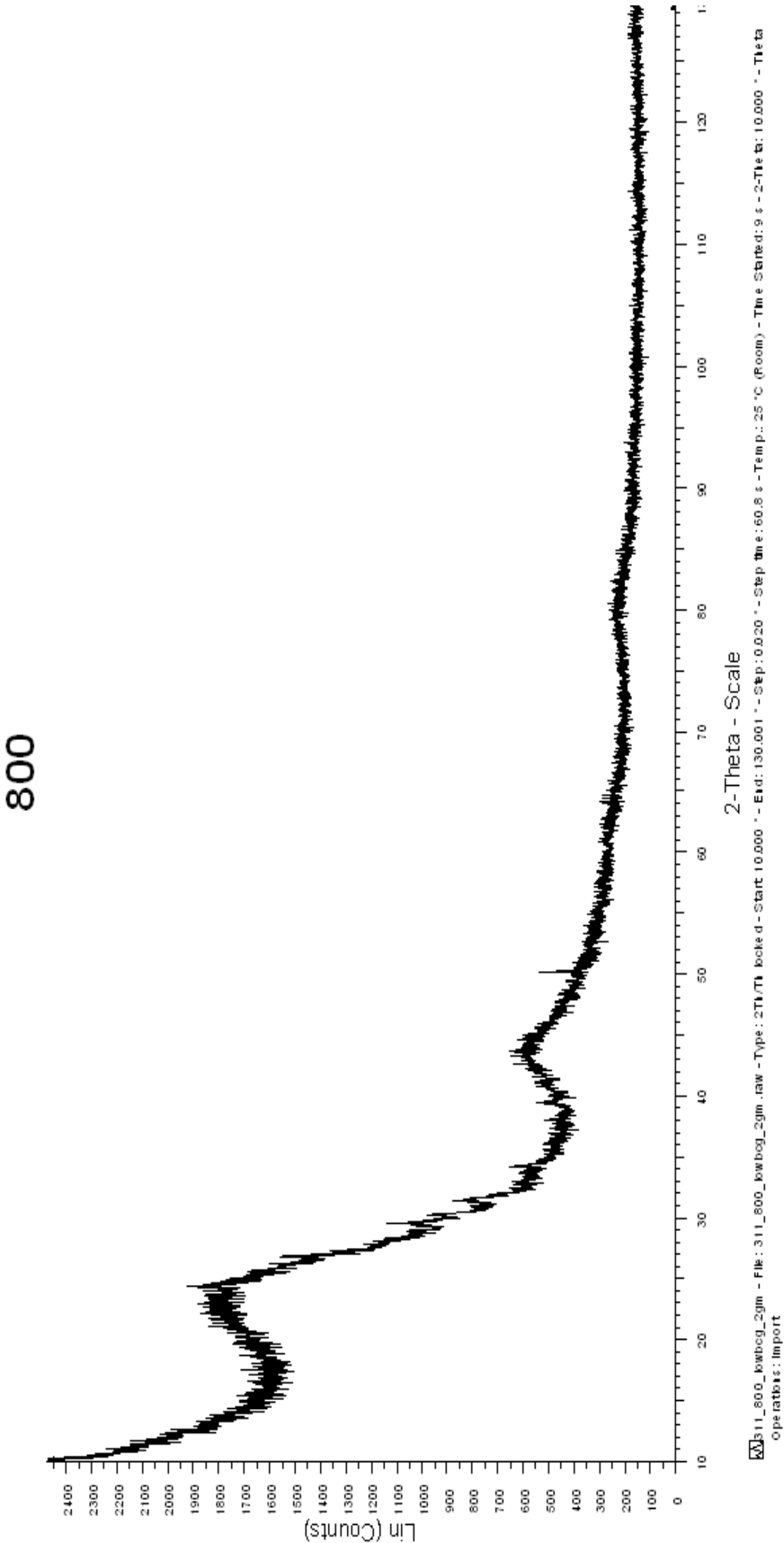
н.с. Клеусов Б.С. 29.11.2017 
(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.



Чеблакова Е.Г.



Протокол испытания №- ИЦ-76-СА-956-2018 12.03.2018 страница 1 всего страниц 2



Испытательный Центр АО «НИИГрафит»
111524, Москва, ул. Электродная, д. 2,
т. +7 (495) 665-70-03, +7(916)015-24-20, e-mail: cheblakova@niigrafit.org

Аттестат аккредитации № ААС.А.00003 Действителен до «4» июля 2021г.

Протокол испытания

№ ИЦ-76-СА-956-2018 от «12» марта 2018 года

Рентгенофазовый анализ

1 Заказчик Куасси Бру Гийом, г. Ростов-на-Дону

2 Номер заявки (договора) Сч. 73 от 29.01.2018 г.

3 Объект (материал) испытания Карбонизат скорлупы ореха анакарда

4 Отбор образцов произведен Заказчиком

5 Количество образцов и их идентификация 3 обр., ИЦ/956/18 – 1÷3

6 Испытание проведено по методике выполнения измерений МИ 00200851-343-2011

7 Нормативная или техническая документация, регламентирующая требования к объекту испытаний согласно методике

8 Тип образца для испытаний порошок

9 Средства измерений и испытательное оборудование порошковый дифрактометр D8 Advance фирмы Bruker (Германия), программное обеспечение - TOPAS

10 Параметры испытания Параметры съемки: медное излучение с длиной волны $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, шаг сканирования $0,02^\circ$, скорость сканирования $2^\circ/\text{мин}$

11 Результаты испытаний

Маркировка образца	$d_{002}, \text{ \AA}$	$g, \%$	$L, \text{ нм}$
Активирован 30 мин $T=400^\circ\text{C}$	3,944	<0	0,9
Активирован 30 мин $T=600^\circ\text{C}$	3,950	<0	0,9
Активирован 30 мин $T=700^\circ\text{C}$	3,951	<0	0,9

Протокол испытания №- ИЦ-76-СА-956-2018 12.03.2018 страница 2 всего страниц 2

Расстояние между графитовыми плоскостями d_{002} .

Размеры кристаллитов рассчитываются по формуле Селякова- Шеррера

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

где L - размер кристаллитов; β – полуширина рефлекса; $k=0,89$.

Степень графитации рассчитывается по формуле:

$$g = \frac{d_m - d_{002}}{d_m - d_{np}} = \frac{3,44 - d_{002}}{0,086}$$

где d_m – межплоскостное расстояние турбоэпитактиального графита,

d_{np} – межплоскостное расстояние природного графита,

d_{002} – межплоскостное расстояние исследуемого углеродного материала.

Отснятые дифрактограммы представлены Заказчику в электронном виде и отправлены по электронной почте.

12 После испытаний образцы

Оставлены в Испытательном центре

(фиксируется место хранения или передача заказчику)

13 Заключение по
испытаниям

На дифрактограммах присутствует размытый рефлекс ($2\theta \approx 24^\circ$) фазы аморфного углерода, так же на дифрактограммах присутствуют рефлексы неизвестных кристаллических фаз. Образцы представляют собой неграфитированный аморфный углеродный материал с очень большими межплоскостными расстояниями. На дифрактограммах присутствуют рефлексы малой интенсивности неизвестных кристаллических фаз.

14 Испытания проводил

н.с. Клеусов Б.С.

(Ф.И.О. исполнителя, дата, подпись)

12.03.2018 КСР

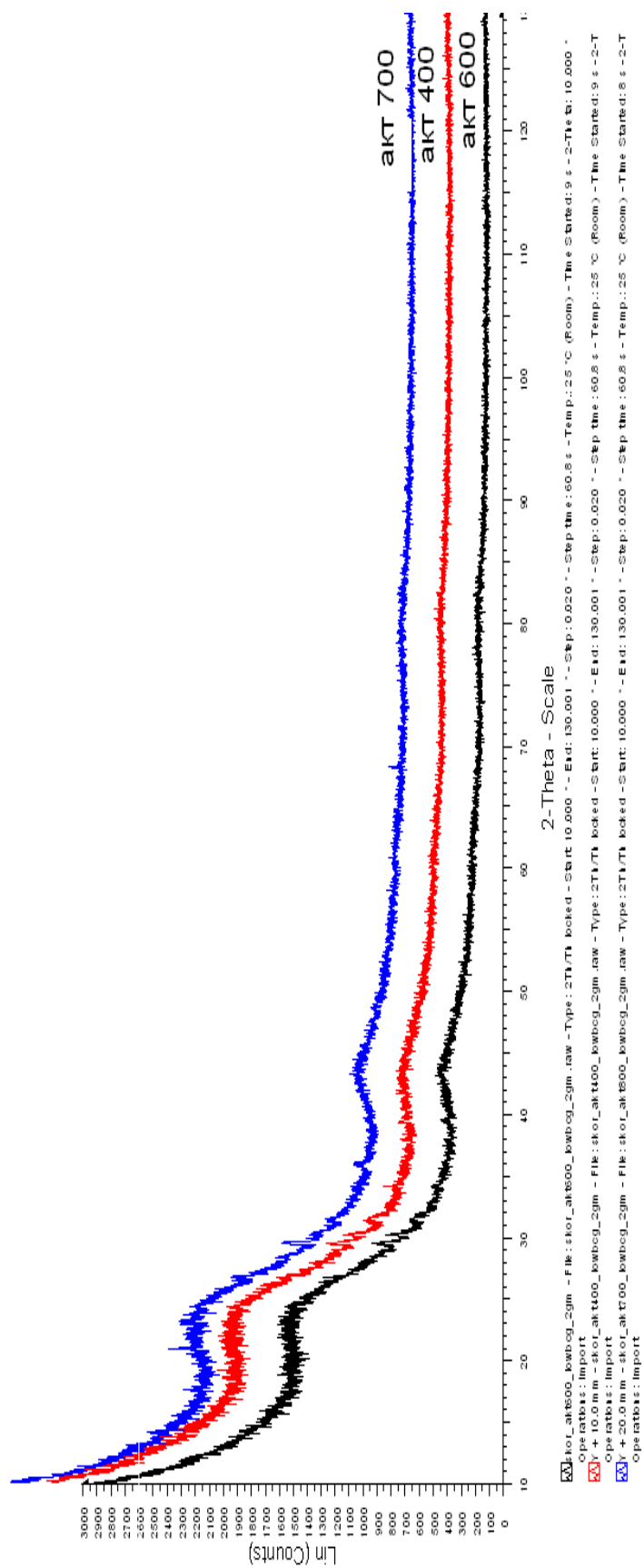
- Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного согласия Испытательного Центра.
- Результаты испытаний распространяются на материал образцов.

Начальник Испытательного Центра,
к.т.н., с.н.с.

Е.Г.



Чебакова Е.Г.



Расчет определения массы $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- Для определения массы $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Чтобы подсчитать, сколько следует взять $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ для приготовления раствора заданного объема, подсчитывают, сколько Fe должно содержаться в нем. Для этого используют исследующий метод:

$$M(\text{Fe}) = C(\text{Fe}) * V \quad (3.1)$$

Где $M(\text{Fe})$ - масса железа; $C(\text{Fe})$ концентрация железа, 2,5мг/л; V - объем раствора, 10 л;

$$M(\text{Fe}) = 2,5 \text{ мг/л} * 10 \text{ л} = 25 \text{ мг} = 0,025 \text{ г}.$$

После этого, зная молекулярный вес $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (277,9 г/моль), подсчитывают нужное количество ее:

$$277,9 \text{ г/моль, } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 55,84 \text{ г/моль, Fe}$$

$$X, \text{ FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 0,025 \text{ г, Fe}$$

$$X(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,025 \text{ г} * 277,9 \text{ г/мол}}{55,84 \text{ г/мол}} = 0,12 \text{ г};$$

Где $X(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$, масса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;

$$\text{масса } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0,12 \text{ г}$$

- Для определения массы $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Использовали также метод для определения массы $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$,

$$\text{Масса } (\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 0,0307 \text{ г} = 30,7 \text{ мг}.$$

ВНЕДРЕНИЕ РАБОТЫ



DIRECTION GENERALE

N/Réf. : DGAT/kMP/2018

Abidjan, le 12 Novembre 2018

ATTESTATION

La ville de Dimbokro (République de Côte d'Ivoire) dispose d'une Station de Traitement d'Eau Potable (STEP) qui a été mise en service en 1973. Elle a une production d'environ 2500m³/j.

La source d'eau utilisée pour cette production est l'eau de la rivière N'Zi.

La Filière de Traitement d'Eau Potable (FTEP) est gérée par la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI).

Tenant compte de l'indisponibilité des plans initiaux de la STEP, nous avons demandé à Mr. KOUASSI Brou Guillaume de nous élaborer :

- Un schéma synoptique de la filière de traitement (FTEP)
- Un schéma synoptique de la STEP

En foi de quoi, nous lui délivrons la présente attestation pour servir et valoir ce que de droit.

Directeur Général Adjoint



SODECI s.a.

Компания по водоснабжению Кот-д'Ивуара

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Наш исх. №: DGAT/kMP/2018

Абиджан, 12 ноября 2018 г.

СПРАВКА

В городе Димбокро (Республика Кот-д'Ивуар) работает станция очистки питьевой воды, которая была введена в эксплуатацию в 1973 году. Её производительность составляет около 2500 м³/сут.

Источником воды, используемой для этого производства, является вода реки Н'Зи.

Система очистки питьевой воды находится под управлением Компании по водоснабжению Кот-д'Ивуара (SODECI).

Принимая во внимание тот факт, что на данный момент станция очистки питьевой воды не справляется со своей функцией в полном объеме, мы обратились к г-ну КУАССИ Бру Гийому с заданием разработать для нас:

- структурную схему реконструкции системы очистки питьевой воды
- структурную схему реконструкции станции очистки питьевой воды.

В удостоверение вышеизложенного выдаем ему настоящую справку для предъявления ее по месту требования.

Печать: Компания по водоснабжению Кот-д'Ивуара SODECI,
Генеральный директор, Абиджан 01, п/я 1843

Заместитель Генерального директора: (подпись) ЙОБУЭ Дескор

Перевод с французского языка на русский выполнил(а)
Алтухова Виктория Руслановна

Алтухова Виктория Руслановна

ЙОБУЭ Дескор



Продолжение приложения М

2018

Российская Федерация, город Ростов-на-Дону, Ростовская область
 Я, Лавченко Елена Евгеньевна, нотариус Ростовского-на-Дону
 нотариального округа, свидетельствую подлинность подписи
 переводчика *Сметуновой Виктории Руслановны*

Подпись сделана в моем присутствии.

Личность подписавшего документ устанавливаю.

Зарегистрировано в реестре: № *61/04-1/61-2018-1-608*

Взыскано государственной пошлины (по тарифу): *280 руб*

Уплачено за оказание услуг правового

технического характера: *280 руб*

Е.Е. Лавченко



[Handwritten signature]



[Handwritten signature]



Всего прошнуровано,
 пронумеровано и скреплено
 печатью *да* *двух* листов
 Нотариус *[Handwritten signature]*

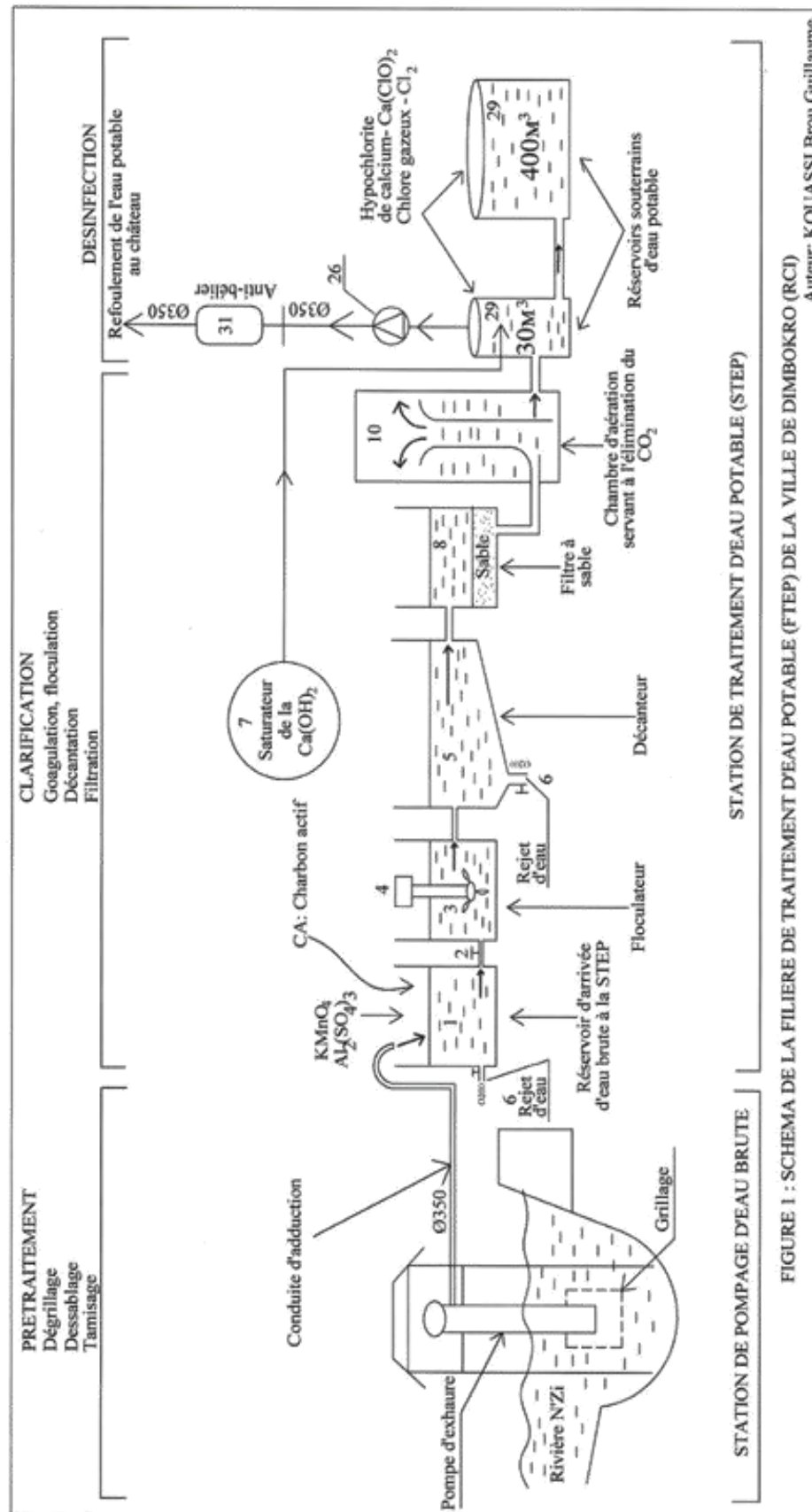


FIGURE 1 : SCHEMA DE LA FILIERE DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE (FTEP) DE LA VILLE DE DIMBOKRO (RCI)

Auteur: KOUASSI Brou Guillaume

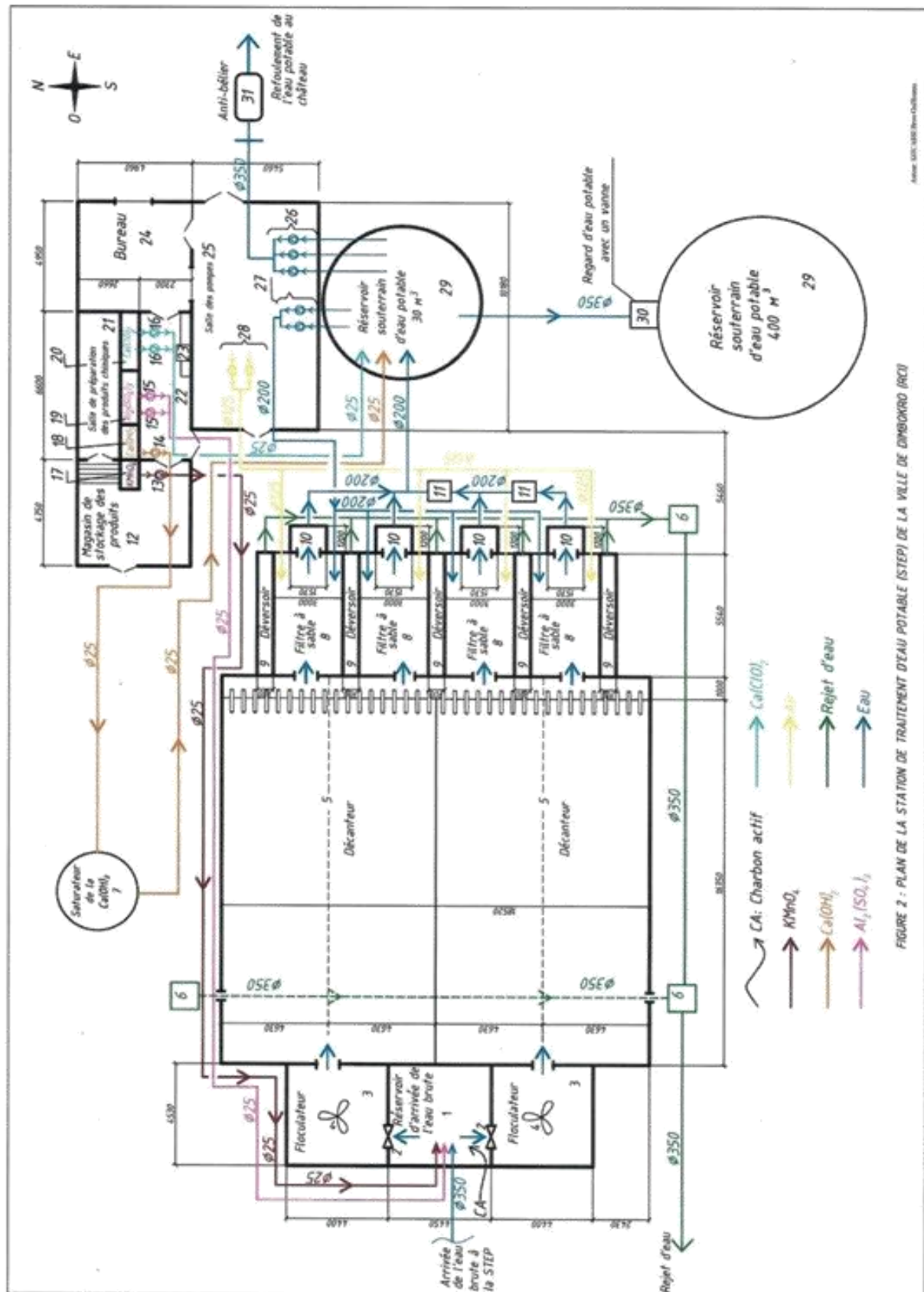


FIGURE 2 : PLAN DE LA STATION DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE (STEP) DE LA VILLE DE DIMOKORO (RCO)

Tableau: Explication du schéma de la filière de traitement d'eau potable (FTEP) (Figure 1) et du plan de la station de traitement d'eau potable (STEP) (Figure 2) de la ville de Dimbokro

N°	Noms	Caractéristiques	Nombres
1	Réservoir d'arrivée d'eau brute à la STEP	-	1
2	Vanne dans le réservoir d'arrivée d'eau brute à la STEP	Vanne méplat, $\Phi 200$	2
3	Floculateur	-	2
4	Agitateur à hélice	P=1,1kw; U=220/380, I = 2,8A; V=1700tr/min; Cosf = 0,77; Marque: Sew usocome; Type: rf137r77dt9054	2
5	Décanteur	Horizontal	2
6	Regard d'eau de rejet	-	3
7	Saturateur de la chaux- Ca(OH)_2	En forme canonique	1
8	Filtre	Filtre à sable	4
9	Déversoir	-	4
10	Chambre d'aération servant à éliminer le CO_2	-	4
11	Regard d'eau en cours de traitement	-	2
12	Magasin de stockage des produits de traitement de l'eau potable	-	1
13	Pompe doseuse du KMnO_4	Q=13L/h; P= 0,09kw; I=0,64A; U=230/400; V=1365tr/min; Cosf = 0,69; Marque: Siemens; Type:1LA7060-4AB99-ZX30.	1
14	Pompe doseuse du Ca(OH)_2	Q=8m3/h; P=1,5kw; U=400v; I=2,4A; V=1350tr/min; Cosf=0,7; Marque: Siemens	1
15	Pompe doseuse du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Q= 297L/h; P=0,55kw; I=2,4A; U=380/420; V=1380tr/min; Cosf = 0,79; Marque: Siemens; Type: 1LA7080-4AA92 -7N01	2
16	Pompe doseuse du Ca(ClO)_2	Q=67L/h; P=0,18kw; U= 380/420; I=0,56A; V=1350 tr/min; Cosf = 0,77; Marque: Siemens ; Type:1LA70634AB99-ZN01	1
17	Bac pour la préparation	V=1500L	1

Окончание приложения М

	du KMnO_4		
18	Bac pour la préparation du $\text{Ca}(\text{OH})_2$	V=3650L	1
19	Bac pour la préparation du $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	V= 1350L	2
20	Bac pour la préparation du $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	V= 850L	2
21	Salle de préparation des produits (réactifs) chimiques	-	1
22	Laboratoire de la STEP	-	1
23	Robinet et lavabo du laboratoire	-	1 robinet, 1 lavabo
24	Bureau	-	1
25	Salle des pompes	3 pompes de refoulement d'eau potable au château; 2 pompes de lavage des ouvrages; 2 pompes à air servant à laver les filtres à sable	1
26	Pompe de refoulement d'eau potable au château	Q=150m ³ /h; P=22kw; U=380v; I=43,5A. V:1455tr/min; Cosf = 0,84; Marque: Leroy semer; Type: LS180LR-T.	3
27	Pompe de lavage des ouvrages de la STEP	Q= 210m ³ /h; P = 11kw, U=380v, I=22A, V=1447tr/min, Cosf: 0,88; Marque: leroy semer; Type: FLSC160M4B3	2
28	Pompe à air servant à laver les filtres	Q= 914m ³ /h; Pression d'aspiration = 1.013Bar; Pression de refoulement=1.363 Bar; Puissance absolue =11,09kw; I=54A; U= 400/600v; V=2915tr/min; Cosf =0,88; Marque: Siemens; Type: 1LC4206-2AA 60	2
29	Réservoir souterrain d'eau potable	1 réservoir 30m ³ 1 réservoir 400m ³	2
30	Regard d'eau potable avec une vanne	Marque: vanne méplat, Φ 350	1
31	Anti-bélier	V= 1000L; Pression = 10 -15Bar; Marque: Charlate	1

Auteur: KOUASSI Brou Guillaume