

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине « Основы промышленного мониторинга»  
для студентов заочной формы обучения направления подготовки  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Невинномысск 2019

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины « Основы промышленного мониторинга». Указания предназначены для студентов заочной формы обучения, направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование

*Составители*

*Л.В. Москаленко, канд.тех.наук*

*К.С. Сыпко, ассистент.*

*Отв. редактор*

*А.Л. Проскурнин, канд.хим.наук, доцент.*

## Содержание

<b>Введение</b>	4
<b>Тема 3. Мониторинг состояния отдельных природных сред. Мониторинг природных ресурсов</b>	5
<b>Лабораторная работа 1. Исследование физических показателей качества воды</b>	5
<b>Лабораторная работа 2. Приготовление и экспресс-анализ модельной смеси сточных вод</b>	11
<b>Лабораторная работа 3. Обесцвечивание сточных вод коагуляцией</b>	18
<b>Лабораторная работа 4. Очистка воздуха от диоксида углерода абсорбцией</b>	23
<b>Лабораторная работа 5. Очистка воздуха от диоксида углерода адсорбцией</b>	30

## Введение

Решение экологических проблем в современном мире невозможно без понимания объективных законов развития природы и общества. «Основы промышленного мониторинга» изучает эти законы, которые дают ключ к управлению в области охраны окружающей среды.

Дисциплина «Охрана окружающей среды в химической промышленности» относится к дисциплине вариативной дисциплины по выбору. Она направлена на формирование общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование. Последовательность лабораторных работ соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при осуществлении лабораторных работ.

### Тема 3. Мониторинг состояния отдельных природных сред. Мониторинг природных ресурсов

#### Лабораторная работа 1. Исследование физических показателей качества воды

Цель работы: определение органолептических и санитарнотоксикологических показателей качества воды.

Формируемые компетенции или их части:

Индекс	Формулировка:
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК -14	умением проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

#### Теоретическая часть

Нормирование качества воды заключается в установлении для воды водного объекта совокупности допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта. Правилами охраны поверхностных вод, введенных в действие с 1.03.91 г., предусмотрены общие требования к составу и свойствам воды водоемов, предназначенной для хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и рыбохозяйственного назначения. К хозяйственно-питьевому водопользованию относится использование водных объектов в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. К коммунально-бытовому относится использование объектов для купания, занятия спортом и отдыха населения. К рыбохозяйственному водопользованию относится использование водных объектов для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов. Рыбохозяйственные водные объекты делятся на три категории: высшая (места нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных и ценных видов рыб); первая (водные объекты для воспроизводства ценных видов, обладающих высокой чувствительностью к кислороду); вторая (водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей). Для всех видов водопользователей регламентируются в первую очередь физические показатели качества воды. Под физическими свойствами воды понимают ее органолептические свойства (запах, вкус, цвет, прозрачность), а также температуру, плотность, вязкость и т.п. Запах воды может быть как естественного (травянистый, болотный, древесный и т.п.), так и искусственного происхождения из-за загрязнения воды стоками предприятий. При качественной оценке запаха определяется его характер. Характер запаха оценивается словесно (травянистый, землистый, древесный, гнилостный, затхлый, сернистый, хлорный, углеводородный и т.д.). Количественная оценка интенсивности запаха дается в баллах по пятибалльной шкале (табл. 1). Согласно существующим нормам интенсивность запаха воды при 20 °С не должна превышать 2 баллов.

Таблица 1 Оценка интенсивности запаха и вкуса воды

Оценка в баллах	Характеристика запаха и вкуса
0	Отсутствует
1	Очень слабый
2	Слабый
3	Заметный
4	Отчетливый
5	Очень сильный

Вкус воды обуславливается присутствием в ней веществ природного происхождения или веществ, которые попадают со сточными водами, а также продуктов жизнедеятельности организмов. При качественной оценке вкуса воды используются четыре вида вкусовых ощущений: горький, сладкий, кислый, соленый. Количественная интенсивность вкуса оценивается по пятибалльной шкале (см. табл. 1). Интенсивность вкуса питьевой воды не должна превышать 2 балла. Цветность воды зависит от наличия в ней растворенных и взвешенных примесей (коллоидных соединений железа, гуминовых веществ, взвешенных и окрашенных веществ, водорослей). В зависимости от количества гуминовых кислот и их солей (гуматов) цвет колеблется от желтого до коричневого. Цветность воды определяют качественно и количественно. Результаты качественного исследования цветности воды описывают словесно (бесцветная, светло-желтая, бурая и т.п.). Количественно цвет воды определяют путем сравнения исследуемой воды со шкалой стандартных растворов и выражают в условных градусах этой шкалы (табл. 2). При отсутствии окраски вода считается бесцветной.

Таблица 2 Шкала стандартных растворов

Номер пробирки	Раствор, мл		Градус цветности
	№ 1	№ 2	
1	0	50	0
2	0,5	49,5	5
3	1,0	49,0	10
4	1,5	48,5	15
5	2,0	48,0	20
6	Исследуемая вода		

Прозрачность воды обусловлена ее цветом и мутностью, т.е. зависит от количества содержащихся в воде взвешенных веществ (частицы песка, глины, почвы и т.п.). Определяют прозрачность воды непосредственно в водоеме или в пробах для анализа. Результаты качественного определения прозрачности воды путем сравнения с эталоном из дистиллированной воды оценивают словесно (слабо мутная, очень мутная и др.). Количественная оценка прозрачности воды проводится по кресту или шрифту. Прозрачность по кресту устанавливается в водоеме или при контроле качества очистки воды на очистных сооружениях путем нахождения предельной высоты столба воды, через которую просматривается черный крест на белом фоне. Питьевая вода должна иметь прозрачность по кресту не менее 30 см. Определение прозрачности по шрифту в лабораторных условиях основано на нахождении максимальной высоты столба воды в бесцветном цилиндре, через который можно прочесть стандартный шрифт. Прозрачность питьевой воды по шрифту должна быть не менее 30 см. Температура и плотность – общеизвестные параметры воды. Плотность чистой воды зависит от ее температуры и составляет при 15 °С 0,99913 г/см<sup>3</sup>, при 20 °С – 0,99823 г/см<sup>3</sup>. Плотность природных и сточных вод зависит также и от растворенных соединений. Обычно плотность воды близка к единице.

В этой работе необходимо определить основные физикохимические показатели качества исследуемой воды. Все результаты опытов должны быть занесены в табл. 3. После выполнения всех исследований сравнить полученные показатели с установленными нормативами (предельно допустимыми концентрациями) и сделать вывод о качестве исследуемой воды.

### Оборудование и материалы

Опыт 1. Колбы с притертой пробкой ёмкостью 200 см<sup>3</sup>, пробы воды.

Опыт 2. Бесцветные цилиндры ёмкостью 200 см<sup>3</sup> диаметром 30 мм, цилиндры ёмкостью 10 см<sup>3</sup>, плотные фильтры, градуированная пипетка, мерный стакан, концентрированная серная кислота, основной раствор №1, вспомогательный раствор № 2

или компоненты для их приготовления (бихромат калия  $K_2Cr_2O_7$  и сульфат кобальта  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ ), дистиллированная вода, пробы воды

Опыт 3. Невысокий стеклянный бюкс объемом  $20 \text{ см}^3$ , набор универсальной индикаторной бумаги, шкала универсального индикатора.

Опыт 4. стеклянные пробирки объемом  $10 \text{ см}^3$ , соляная кислота  $HCl$  (1:5), хлорид бария 5%, стандартная шкала для определения содержания сульфатов в воде, мерный цилиндр объемом  $25 \text{ см}^3$ , мерные пипетки объемом  $5 \text{ см}^3$ .

Опыт 5. стеклянные пробирки объемом  $10 \text{ см}^3$ , раствор нитрата серебра 10%, раствор азотной кислоты 2Н, мерный цилиндр объемом  $25 \text{ см}^3$ .

Опыт 6. химический стакан объемом  $100 \text{ см}^3$ , мерный цилиндр объемом  $100 \text{ см}^3$ , раствор соляной кислоты (1:5), раствор молибдата аммония, раствор хлорида олова, мерные пипетки объемом  $5 \text{ см}^3$ .

Опыт 7. стеклянные пробирки объемом  $10 \text{ см}^3$ , мерные пипетки объемом  $10 \text{ см}^3$ , мерные колбы объемом  $50 \text{ см}^3$ , раствор серной кислоты 1Н, раствор сульфосалициловой кислоты 10%, стандартная шкала для определения содержания катионов железа в воде.

Опыт 8. стеклянные пробирки объемом  $10 \text{ см}^3$ , раствор хромата калия 0,5 М, стандартная шкала для определения содержания свинца в воде, мерные пипетки объемом  $5 \text{ см}^3$ .

#### **Указания по технике безопасности**

Используемые при выполнении анализа растворы, реактив, посуда и другие составные части комплекта должны быть предварительно осмотрены.

При осмотре проверяют:

1. Целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;
2. Отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал и т.п.;
3. Соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, т.е. наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде и т.п.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в места для их хранения.

Входящие в состав комплекта реактивы герметично упакованы во флаконы и не представляют опасности при хранении. Хотя комплект не содержит ядовитых и сильнодействующих веществ, при работе с комплектом необходимо руководствоваться основными правилами безопасности, предусмотренными для работ в химической лаборатории. В частности, при работе в лаборатории не допустимо:

1. Попадание химикатов и растворов на слизистые оболочки, кожу, одежду;
2. Принятие пищи (питья);
3. Вдыхание воздуха и химикатов, особенно имеющих резкий запах и находящихся в мелкокристаллическом состоянии (образующих пыль);
4. При работе со стеклянными изделиями и посудой необходимо соблюдать осторожность во избежание порезов.

При проведении экспериментов по моделированию загрязнений воздуха предусмотрено использование концентрированных и разбавленных кислот – серной, соляной, азотной, муравьиной. При попадании кислот на кожу необходимо быстро промокнуть раствор любым тампоном (салфеткой, ветошью и т.п.), место попадания обильно промыть струей воды и вымыть с мылом.

Особенно опасны кислоты при попадании в глаза. В этом случае глаза необходимо немедленно обильно промыть не сильной струей воды, затем 2%-ным водным раствором соды и срочно обратиться к врачу-специалисту.

Соль никеля при попадании в организм человека представляет повышенную опасность и требует особого обращения, а именно: хранения в специальном месте, учета при расходовании.

### Задания

#### Опыт 1. Исследование запаха воды

В колбу с притертой пробкой емкостью 200 см<sup>3</sup> налить исследуемую воду до 2/3 объема и сильно встряхнуть вращательным дви- 10 жением в закрытом состоянии. Затем открыть и сразу же определить обонянием характер и интенсивность запаха. Дать оценку характера и интенсивности запаха по пятибалльной шкале (см. табл. 1). Результаты исследований запаха воды представить в виде табл. 4, а также занести в табл. 3.

Таблица 4 Результаты исследования запаха воды

Номер пробы	Показатели оценки	
	Характер запаха	Интенсивность запаха
1		
2		

#### Опыт 2. Исследование цветности воды.

Для качественной оценки цветности воды отфильтровать через бумажный фильтр не менее 40 – 50 см<sup>3</sup> исследуемой воды. Профильтрованную воду налить в бесцветный цилиндр и сравнить с таким же объемом дистиллированной воды в другом таком же цилиндре. Анализ выполняется на фоне белого листа бумаги при дневном освещении. Воду рассматривают сверху и сбоку и указывают наблюдаемый цвет (бесцветная, светло-желтая, бурая и т.д.). Количественно цветность воды определяется по хромато-кобальтовой шкале. Шкала цветности готовится путем смешения раствора №1 (основной) и №2 (вспомогательный). Для приготовления раствора №1 необходимо в небольшом объеме дистиллированной воды растворить в отдельной посуде 0,0875 г бихромата калия (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) и 2,0 г сульфата кобальта (CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O). Растворы солей смешать, прибавить 1 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты и довести дистиллированной водой до 1 дм<sup>3</sup>. Раствор №2 содержит 1 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты в 1 дм<sup>3</sup> дистиллированной воды (раствор серной кислоты). Шкала цветности готовится в пяти цилиндрах по 50 см<sup>3</sup> путем смешения растворов №1 и №2 в соотношении согласно табл. 2. Для определения цветности в пробирку (цилиндр) №6, однотипную с теми, в которых приготовлена шкала, налить 50 см<sup>3</sup> исследуемой воды. Сравнить окраску воды с окраской растворов в пяти цилиндрах на белом фоне, отыскивая место в шкале, тождественное или максимально приближенное по окраске. Цветность выражают в градусах цветности по данным табл. 2. Результаты исследований цветности воды представить в виде табл. 5, а также занести в табл. 3.

Таблица 5 Результаты исследования цветности воды

Номер пробы	Показатели оценки	
	Цвет воды	Градус цветности
1		
2		

#### Опыт 3. Определение кислотности воды.

В стеклянный бюкс налить исследуемую воду, погрузить в воду полоску универсальной индикаторной бумаги и быстро сравнить полученный цвет бумаги со стандартной шкалой универсального индикатора. Результат занести в табл. 6 и 3.

Таблица 6 Результаты исследования кислотности воды



Номер пробы	Показатели	
	Цвет индикаторной бумаги	pH
1		
2		

Опыт 4. Определение содержания сульфатов.

Предварительно следует провести качественное определение сульфатов. Для этого в пробирку налить 10 см<sup>3</sup> испытуемой воды, добавить 0,5 см<sup>3</sup> соляной кислоты (1:5) и 2 см<sup>3</sup> 5%-ного раствора хлорида бария. Пробирку осторожно встряхнуть. Появление белой мути указывает на содержание в воде сульфат-иона. Чтобы убедиться, что наблюдаемый осадок образован именно сульфатами, а не фосфатами или карбонатами, часть полученного раствора отделить в другую пробирку и добавить несколько капель соляной кислоты. Если осадок не растворяется в соляной кислоте, это указывает на наличие в воде сульфат-ионов. Для полуколичественного определения сульфат-ионов сравнить исследуемый раствор со стандартной шкалой (табл. 7). Результат определения занести в табл. 3.

Таблица 7 Стандартная шкала для определения содержания сульфатов в воде.

Номер пробирки	1	2	3	4	5	6
Количество сульфатов, мг/мл	10	20	50	100	200	400

Опыт 5. Определение содержания хлоридов.

В пробирку налить 5 см<sup>3</sup> воды и добавить 3 – 4 капли 10%-ного раствора нитрата серебра. Появление осадка или мути указывает на присутствие в воде хлоридов. По табл. 8 провести полуколичественное определение хлоридов. Для того чтобы убедиться, что осадок образовался за счет хлоридионов, в пробирку добавить несколько капель азотной кислоты. Нерастворившийся осадок или муть свидетельствует о содержании в воде именно хлоридов. Результаты определения занести в табл. 3

Таблица 8 Данные для определения содержания хлоридов в воде

Характеристика осадка или мути	Содержание хлоридов, мг/л
Опалесценция или слабая муть	1 – 10
Сильная муть	10 – 50
Образуются хлопья, осаждаются не сразу	50 - 100
Белый объемный осадок	Более 300

Опыт 6. Определение содержания фосфатов.

В химический стакан объемом 100 см<sup>3</sup> налить 50 см<sup>3</sup> пробы воды, добавить 1 см<sup>3</sup> соляной кислоты (1:5), 1 см<sup>3</sup> раствора молибдата аммония и по каплям ввести раствор хлорида олова (всего 3 капли). По интенсивности окраски полученного раствора судят о количестве фосфат-ионов в исследуемой воде (табл. 9). Результаты испытаний занести в табл. 3.

Таблица 9 Данные для определения содержания фосфатов в воде

Окраска раствора	Содержание фосфатов, мг/л
Светло-голубая	0,1 – 10
Голубая	10 – 45
Синяя	Более 45

Опыт 7. Определение содержания катионов железа

Для определения содержания в воде солей железа налить 10 см<sup>3</sup> исследуемой воды в мерную колбу, добавить 1 см<sup>3</sup> серной кислоты (для создания кислой среды). Далее прибавить 5 см<sup>3</sup> 10%-ного раствора сульфосалициловой кислоты. Раствор долить до метки дистиллированной водой и перемешать. Для сравнения с растворами стандартной шкалы приготовленный раствор налить в пробирку до уровня, одинакового со стандартными растворами. Окраску сравнивать, рассматривая растворы сверху. В присутствии ионов

железа раствор окрашивается в розовый цвет. По стандартной шкале (табл. 10) определить содержание в воде катионов железа.

Таблица 10 Стандартная шкала для определения содержания катионов железа в воде.

Номер пробирки	1	2	3	4	5
Содержание катионов железа, мг/л	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30

Содержание катионов железа в пробе воды считать равным тому значению, которое соответствует стандартному раствору шкалы с окраской раствора, наиболее близкой окраске пробы. Результаты занести в табл. 3.

Опыт 8. Определение содержания катионов свинца.

В пробирку поместить 5 см<sup>3</sup> пробы, прибавить 0,5 см<sup>3</sup> раствора хромата калия. Окраску полученного раствора сравнить со стандартной шкалой (табл. 11).

Таблица 11 Стандартная шкала для определения содержания катионов свинца в воде

Номер пробирки	1	2	3	4
Содержание катионов свинца, мг/л	0,01	0,05	0,10	0,50

Полученный результат занести в табл. 3. Сделать вывод о качестве исследуемой воды.

### Содержание отчета

Таблица 3 Физико-химические показатели качества воды

Показатель	Полученный результат	Нормативный показатель	Соответствие норме
Запах		Не более 2 баллов	
Цветность		Не более 20°	
Кислотность		pH=6,5 – 7,5	
Содержание сульфатов		400 мг/л	
Содержание хлоридов		300 мг/л	
Содержание фосфатов		45 мг/л	
Содержание железа		0,5 мг/л	
Содержание свинца		0,03 мг/л	

### Контрольные вопросы

#### Базовый уровень

1. Группы показателей, характеризующих качество питьевой воды.
2. Гигиеническая характеристика органолептических показателей качества воды и методы их определения.
3. Гигиеническое значение жесткости питьевой воды и метод ее определения.
4. Гигиеническое значение загрязнения воды органическими соединениями.

#### Повышенный уровень

1. Химические показатели, характеризующие загрязнение воды, и методы их определения.
2. Сущность биохимических процессов превращения азотсодержащих веществ в воде.

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

#### Основная литература:

1. Околелова, А. А. Экологический мониторинг : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.А. Околелова, Г.С. Егорова ; Волгоградский государственный

технический

университет. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 116 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>

2. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза Электронный ресурс : Учебное пособие / А. В. Шамраев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. - 141 с. - ISBN 2227-8397

#### **Дополнительная литература:**

1 Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии : учеб. / А. Н. Голицын. - М. : ИРПО : Академия, 2002. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 237. - ISBN 5-8222-0114-8(ИРПО). - ISBN 5-7695-0748-9(Издат. центр "Академия")

2 Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : [учеб. пособие] / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. - Мн. : Вышэйшая школа, 2001. - 343 с. : ил. - Библиогр.: с. 334-336. - ISBN 985-06-0584-7

3 Тихонова, И. О. Экологический мониторинг атмосферы : учеб. пособие для вузов / И.О. Тихонова, В.В. Тарасов, Н.Е. Кручинина. -2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. - 131с. : ил. ; 21. - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 129. - ISBN 978-5-91134-667-6. - ISBN 978-5-16-006032-3

#### **Интернет-ресурсы:**

1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам

2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».

3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО

4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.

5 <https://openedu.ru> – Открытое образование

6 <http://ecograde.bio.msu.ru> – Информационная система «Фундаментальные проблемы оценки состояния экосистем и экологического нормирования»

## **Лабораторная работа 2. Приготовление и экспресс-анализ модельной смеси сточных вод**

Цель работы: ознакомиться с характеристикой промышленных сточных вод и приготовить модельную смесь, соответствующую сточной воде заданного промышленного производства; определить с помощью экспресс-тестов и колориметрической шкалы содержание ионов-загрязнителей в модельной смеси.

Формируемые компетенции или их части:

Индекс	Формулировка:
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК -14	умением проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

### **Теоретическая часть**

Характеристика промышленных сточных вод Многие промышленные и хозяйственные процессы связаны с образованием сточных вод, содержащих токсичные вещества. Сточные воды – это вода, возвращаемая в окружающую среду после использования.

К сточным водам относятся:

- канализационные воды;
- сбросы промышленных предприятий;
- дренажные воды;
- отходы сельскохозяйственных ферм;
- стоки с полей с растворёнными в них удобрениями и пестицидами;
- нагретые воды систем охлаждения и т.д.

Основные вещества – загрязнители, содержащиеся в сточных водах различных промышленных производств, приведены в табл. 1.

Важнейшей задачей в условиях промышленного развития и временной неизбежности попадания отходов в водные биогеоценозы является установление допустимых нагрузок на водные объекты в результате водопотребления.

Водопотребление – это использование воды, связанное с изъятием её из мест локализации с частичным или полным безвозвратным расходом и с возвращением в источники водозабора в загрязненном состоянии. Обычно контролю подвергаются наиболее опасные вещества, способные накапливаться в донных отложениях, передаваться по трофическим цепям, в частности тяжелых металлов, таких как железо, медь, никель, цинк, хром и другие.

Таблица 1 Основные вещества-загрязнители водных объектов и характерные источники загрязнений

Загрязнитель	Основные формы загрязнителя	Тип промышленного производства	ПДК в воде водоемов, мг/л
Активный хлор	$\text{Cl}_2, \text{ClO}^-$	Хлорирование сточных вод, производство дезинфицирующих средств	Не допускается
Железо (II, III)	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	Травильные цеха, крашение тканей, производство реактивов	0,3
Медь	$\text{Cu}^{2+}$	Гальванические цеха	1,0
Никель	$\text{Ni}^{2+}$	Гальванические цеха	0,1
Нитраты	$\text{NO}_3^-$	Производство минеральных удобрений, азотной кислоты	45
Сульфиды	$\text{S}^{2-}, \text{HS}^-, \text{H}_2\text{S}$	Крашение сернистыми красителями, разложение белковых соединений	Не допускается
Хром (III, VI)	$\text{Cr}^{3+}, \text{CrO}_4^{2-}, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Гальванические и красильные цеха, дубление кож	0,05 для $\text{Cr}^{6+}$ , 0,5 для $\text{Cr}^{3+}$

Железо постоянно присутствует в поверхностных и подземных водах. Высокое содержание железа в поверхностных водах указывает на загрязнение их промышленными сточными водами, особенно промстоками металлообрабатывающих производств.

Медь в поверхностных водах присутствует в результате загрязнения сточными водами предприятий химической, металлургической промышленности. Источником меди в воде может быть коррозия металлов или медьсодержащих металлических частей, соприкасающихся с водой.

Никель может присутствовать в сточных водах металлообрабатывающих и химических предприятий.

Хром присутствует в сточных водах металлообрабатывающих и химических производств, кожевенных заводов и загрязненных стоками этих производств поверхностных водах.

Кроме того, сточные воды содержат различные органические соединения. Для каждого предприятия должен устанавливаться предельно допустимый сброс (ПДС) вредных веществ. Согласно 17 ГОСТу ПДС вредного вещества – это его масса в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени. С целью обеспечения норм качества воды в

контрольном пункте ПДС устанавливается с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ. Контроль качества сточных вод предусматривает определение органолептических показателей воды (цвет, запах), химического потребления кислорода (ХПК), количества растворенного в воде кислорода, а также его биохимического потребления (БПК), рН среды, содержания взвешенных частиц и концентрации вредных веществ.

Химическим потреблением кислорода (ХПК) называется величина, характеризующая общее содержание в воде веществ, способных окисляться (продукты распада органических соединений и легко окисляющиеся неорганические соединения). Величина ХПК выражается количеством миллиграммов кислорода, необходимого для окисления веществ, содержащихся в 1 дм<sup>3</sup> воды. Обычно окисление пробы сточной воды производится бихроматом калия в серной кислоте. Содержание растворенного кислорода определяют в сточных водах, прошедших химическую или биохимическую очистку, перед спуском в водоемы. Содержание растворенного кислорода измеряют в мг/л и процентах по отношению к равновесной концентрации кислорода при данной температуре. Определение основано на реакции растворенного кислорода с гидроксидом марганца и определении образовавшихся высших по степени окисления соединений марганца. Используются также колориметрические методы, основанные на изменении интенсивности цвета соединений, которые образуются при реакции специальных красителей и сточной воды.

Под биохимическим потреблением кислорода (БПК) понимается количество кислорода в мг/л, необходимое для окисления органических примесей аэробными микроорганизмами. Определение БПК выполняется на основе анализа изменения содержания растворенного кислорода с течением времени. Величина рН является мерой активной кислотности воды, создающейся в результате взаимодействия растворенных электролитов и газов. Значение рН определяется электрометрическим (с использованием приборов – рНметров) или колориметрическим методом. Колориметрический метод основан на свойстве индикаторов менять свою окраску в зависимости от концентрации водородных ионов. Содержание взвешенных веществ (мг/л) в виде осадка определяется путем фильтрования через бумажные или стеклянные фильтры или выпариванием пробы исследуемой воды.

### **Оборудование и материалы**

Кристаллические вещества: хлорная известь  $\text{CaOCl}_2$ , шестиводный хлорид железа  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , железный купорос  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , шестиводный хлорид никеля  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , нитрат калия  $\text{KNO}_3$ , сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ , шестиводный хлорид хрома  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , хромат калия  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , мерные колбы емкостью 100 см<sup>3</sup>, часовые стекла, стеклянные воронки, весы аналитические;

Экспресс-тесты для полуколичественного определения суммарного содержания 2- и 3-валентного железа, активного хлора, хромат- и нитрат-ионов. Колориметрические шкалы для полуколичественного определения содержания ионов меди, никеля и трехвалентного железа, перекись водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , гидроксид натрия  $\text{NaOH}$ , часовые стекла, пинцет, пробирки объемом 10 см<sup>3</sup>.

### **Указания по технике безопасности**

Используемые при выполнении анализа растворы, реактив, посуда и другие составные части комплекта должны быть предварительно осмотрены.

При осмотре проверяют:

1. Целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;
2. Отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал и т.п.;

3. Соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, т.е. наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде и т.п.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в места для их хранения.

Входящие в состав комплекта реактивы герметично упакованы во флаконы и не представляют опасности при хранении. Хотя комплект не содержит ядовитых и сильнодействующих веществ, при работе с комплектом необходимо руководствоваться основными правилами безопасности, предусмотренными для работ в химической лаборатории. В частности, при работе в лаборатории не допустимо:

1. Попадание химикатов и растворов на слизистые оболочки, кожу, одежду;
2. Принятие пищи (питья);
3. Вдыхание воздуха и химикатов, особенно имеющих резкий запах и находящихся в мелкокристаллическом состоянии (образующих пыль);
4. При работе со стеклянными изделиями и посудой необходимо соблюдать осторожность во избежание порезов.

При проведении экспериментов по моделированию загрязнений воздуха предусмотрено использование концентрированных и разбавленных кислот – серной, соляной, азотной, муравьиной. При попадании кислот на кожу необходимо быстро промокнуть раствор любым тампоном (салфеткой, ветошью и т.п.), место попадания обильно промыть струей воды и вымыть с мылом.

Особенно опасны кислоты при попадании в глаза. В этом случае глаза необходимо немедленно обильно промыть не сильной струей воды, затем 2%-ным водным раствором соды и срочно обратиться к врачу-специалисту.

#### Задания

### ПРИГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНОЙ СМЕСИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА

Получите у преподавателя задание: тип промышленного производства, сточные воды которого необходимо смоделировать. Предлагается приготовить модельную смесь сточных вод гальванического цеха, цеха по крашению тканей и дублению кож, а также цеха по производству дезинфицирующих средств. Пользуясь табл. 1, определите, какие загрязнители могут содержаться в стоках выбранного производства. Выпишите из табл. 1 значения предельно допустимых концентраций (ПДК) для выбранных компонентов-загрязнителей, а из табл. 2 выберите вещества, необходимые для введения в модельную смесь нужных компонентов-загрязнителей. Вычислите молярную массу вещества, которое будет использовано для приготовления модельной смеси. Рассчитайте, какое количество реагента необходимо ввести в модельную смесь для достижения величины ПДК по формуле:

$$\frac{m_B}{\text{ПДК}} = \frac{M_B}{M_K}, \quad (1)$$

где  $m_B$  – масса реагента, необходимая для приготовления 1 дм<sup>3</sup> раствора с ПДК=1;

ПДК – табличное значение предельно допустимой концентрации компонента-загрязнителя (см. табл. 1);

$M_B$  – молярная масса реагента, который будет использован для приготовления модельной смеси;

$M_K$  – молярная масса компонента-загрязнителя. Чтобы рассчитать количество реагента, необходимое для приготовления 100 см<sup>3</sup> модельной смеси со значением ПДК=1, следует массу вещества, вычисленную по формуле (1), разделить на 10.

$$m_{100} = \frac{m_B}{10}. \quad (2)$$

Далее следует выбрать, во сколько раз будет превышено значение ПДК в модельной смеси для каждого компонента и умножить значение массы вещества  $m_{100}$  на это число. Это и будет величина навески, необходимая для приготовления модельной смеси.

Таблица 2 Вещества, необходимые для приготовления модельной смеси сточных вод промышленного типа

Компоненты-загрязнители	Реактивы для приготовления модельной смеси
$\text{Cl}_2$ , $\text{HClO}$ , $\text{ClO}^-$	$\text{CaOCl}_2$
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
$\text{Ni}^{2+}$	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{NO}_3^-$	$\text{KNO}_3$
$\text{S}^{2-}$ , $\text{HS}^-$ , $\text{H}_2\text{S}$	$\text{Na}_2\text{S}$
$\text{Cr}^{3+}$	$\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{CrO}_4^{2-}$ , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$

Такой расчет производится по каждому компоненту, выбранному для приготовления модельной смеси сточных вод. Результаты расчета представить в виде таблицы (пример оформления табл. 3). Под руководством преподавателя взвесить необходимое количество реагентов на часовом стекле на аналитических весах, с помощью воронки количественно, то есть без потерь, перенести навеску в мерную колбу объемом  $100 \text{ см}^3$ , смывая вещество с часового стекла и воронки небольшими порциями дистиллированной воды. После того как вся навеска будет перенесена в колбу, долить в колбу дистиллированную воду до метки. Приготовленную модельную смесь сдать преподавателю с указанием того, какие именно компоненты содержатся в ней.

#### ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ МОДЕЛЬНОЙ СМЕСИ СТОЧНЫХ ВОД

Получите у преподавателя модельную смесь сточных вод определенного типа промышленного предприятия с указанием содержащихся в ней компонентов-загрязнителей.

Опыт 1. Определение суммарного содержания железа с помощью «феррум-теста».

От полоски индикаторной бумаги отрезать небольшой рабочий участок размером не менее  $5 \times 5 \text{ мм}$ . Не снимая полимерного покрытия, опустить индикаторную полоску на 5 – 10 с в исследуемый раствор. Через 5 мин сравнить окраску индикаторной бумаги с контрольной шкалой, прилагаемой к тесту. За результат принимают значение концентрации, соответствующее ближайшему по окраске образцу шкалы. При промежуточной окраске за результат принимают соответствующий интервал концентраций.

Опыт 2. Определение содержания хромат-ионов с помощью «хромат-теста». При значениях pH от 2 до 5 от полоски индикаторной бумаги отрезают рабочий участок размером не менее  $10 \times 10 \text{ мм}$ . На рабочий участок наносят каплю анализируемого раствора до образования равномерного смоченного пятна и через 3 мин сравнивают окраску индикаторной бумаги с контрольной шкалой.

Опыт 3. Определение содержания нитрат-ионов с помощью «нитрат-теста». Отрезать от индикаторной полоски рабочий участок размером  $5 \times 5 \text{ мм}$ . Не снимая полимерного покрытия, погрузить участок в исследуемый раствор на 5-10 с. Через 3 мин сравнить окраску рабочего участка с контрольной шкалой.

Опыт 4. Определение хлора с помощью теста «активный хлор». Отрезать от индикаторной полоски бумаги рабочий участок  $10 \times 10 \text{ мм}$ , нанести каплю исследуемого раствора до образования равномерно смоченного пятна. Сразу же сравнить окраску рабочего участка с контрольной шкалой.

Опыт 5. Определение содержания ионов меди. Для определения содержания ионов меди используют колориметрическую шкалу, содержащую гексацианоферрат (+2) меди. 1

см<sup>3</sup> исследуемого раствора помещают в пробирку, добавляют к нему 2 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 1 каплю 0,5-молярного раствора гексацианоферрата (+2) калия K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]. Раствор приобретает коричневую окраску. Окраску раствора сравнивают с колориметрической шкалой, принимая за результат содержание ионов меди в той пробирке, цвет раствора в которой ближе всего к цвету исследуемого раствора.

Опыт 6. Определение содержания ионов никеля. Для определения содержания ионов никеля используют колориметрическую шкалу, содержащую различные количества диметилглиоксимата никеля. К 1 см<sup>3</sup> исследуемого раствора добавляют 2 капли 1%-ного спиртового раствора диметилглиоксима, затем 2 см<sup>3</sup> воды и 2 капли концентрированного раствора аммиака. Образуется розовый осадок, который при интенсивном перемешивании раствора окрашивает весь раствор в розовый цвет. Путем сравнения с колориметрической шкалой определяют содержание ионов никеля в исследуемом растворе.

Опыт 7. Определение содержания ионов 3-валентного железа. В пробирку помещают 1 см<sup>3</sup> исследуемого раствора, 2 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, 1 – 2 капли 1-молярного раствора серной кислоты, 1 каплю 10%-ного раствора сульфосалициловой кислоты. Раствор приобретает розовую окраску. Сравниваем пробирку с исследуемым раствором с колориметрической шкалой. За результат принимаем значение, ближайшее по цвету к одной из пробирок колориметрической шкалы. Содержание двухвалентного железа определяем по разности суммарного содержания железа, определенного с помощью «феррумтеста», и содержания трехвалентного железа, определенного по колориметрической шкале.

Опыт 8. Обнаружение в растворе сульфид-ионов. Нормативы не допускают содержания в воде сульфид-ионов, поэтому наличие или отсутствие этих ионов обнаруживаем качественной реакцией с нитратом кадмия. При наличии в растворе даже незначительного количества сульфид-ионов раствор после добавления капли нитрата кадмия приобретет желтоватую окраску или появится легкое помутнение. Если в растворе высокая концентрация сульфид-ионов, то образуется желтый осадок сульфида кадмия.

Опыт 9. Определение содержания трехвалентного хрома. После того, как произведено определение хромат- и бихроматионов, приступают к определению ионов трехвалентного хрома. Для этого к 1 см<sup>3</sup> исследуемого раствора добавляют по каплям 2-молярный раствор гидроксида натрия до образования осадка гидроксида хрома, далее добавляют избыток щелочи для полного растворения гидроксида и образования гидроксокомплексов. Добавляют 1 каплю 30%-ного или 10 капель 3%-ного раствора перекиси водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и нагревают. Образуется желтый раствор хроматов. Далее определение проводят с помощью «хромат-теста», как описано выше. За результат принимают разность между определением суммарного содержания хромат-ионов (в том числе и после перевода трехвалентного хрома в хроматы) и первоначальным количеством хроматов, определенных в начале работы. Результаты определения приводят в табл. 4.

### Содержание отчета

Таблица 3 Характеристика компонентов-загрязнителей

Компонент-загрязнитель	$M_k$	ПДК	Формула реагента	$m_B$	$m_B$ в 1 дм <sup>3</sup>	$m_{100}$	Превышение ПДК	$m$ навески
Компонент 1								
Компонент 2								

Таблица 4 Результаты экспресс-анализа модельной смеси сточных вод



Компонент-загрязнитель	Количество компонента, мг/дм <sup>3</sup>	ПДК
Компонент 1		
Компонент 2		

## Контрольные вопросы

### Базовый уровень

1. Что называют сточными водами?
2. Как классифицируются сточные воды в зависимости от происхождения, вида и состава?
3. Что такое условно чистые сточные воды?
4. Назовите характерные признаки загрязнения водоемов сточными водами предприятий пищевой промышленности.
5. Каково предназначение механических методов очистки сточных вод?
6. Для удаления каких веществ из сточных вод используются химические методы очистки?
7. С какой целью применяют физико-химические методы очистки?
8. Что лежит в основе биологических методов очистки сточных вод?

### Повышенный уровень

1. Какое оборудование входит в состав сооружений механической очистки вод?
2. На чем основан принцип действия песколоушки?
3. Охарактеризуйте принцип работы жиролоушек?
4. Назовите типы отстойников по конструктивным признакам и дайте их краткую характеристику.

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

#### Основная литература:

1. Околелова, А. А. Экологический мониторинг : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.А. Околелова, Г.С. Егорова ; Волгоградский государственный технический университет. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 116 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>
2. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза Электронный ресурс : Учебное пособие / А. В. Шамраев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. - 141 с. - ISBN 2227-8397

#### Дополнительная литература:

- 1 Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии : учеб. / А. Н. Голицын. - М. : ИРПО : Академия, 2002. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 237. - ISBN 5-8222-0114-8(ИРПО). - ISBN 5-7695-0748-9(Издат. центр "Академия")
- 2 Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : [учеб. пособие] / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. - Мн. : Вышэйшая школа, 2001. - 343 с. : ил. - Библиогр.: с. 334-336. - ISBN 985-06-0584-7
- 3 Тихонова, И. О. Экологический мониторинг атмосферы : учеб. пособие для вузов / И.О. Тихонова, В.В. Тарасов, Н.Е. Кручинина. -2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. - 131с. : ил. ; 21. - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 129. - ISBN 978-5-91134-667-6. - ISBN 978-5-16-006032-3

#### **Интернет-ресурсы:**

- 1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
- 3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
- 4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.
- 5 <https://openedu.ru> – Открытое образование
- 6 <http://ecograde.bio.msu.ru> – Информационная система «Фундаментальные проблемы оценки состояния экосистем и экологического нормирования»

### Лабораторная работа 3. Обесцвечивание сточных вод коагуляцией

Цель работы: Изучение коагуляции как метода очистки и обесцвечивания сточных вод.

Формируемые компетенции или их части:

Индекс	Формулировка:
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК -14	умением проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

#### Теоретическая часть

Одним из распространённых методов очистки промышленных сточных вод от взвешенных веществ с малым размером частиц является обработка их коагулянтами и флокулянтами.

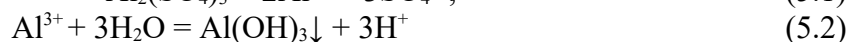
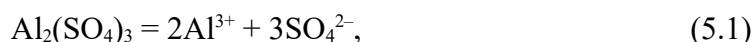
Коагуляция – это процесс укрупнения дисперсных частиц за счёт их взаимодействия и объединения в агрегаты. Коагуляция заключается в том, что в воду вводят вещество, которое может нейтрализовать обычно присутствующие в воде отрицательно заряженных коллоидные частицы загрязнений и интенсифицировать процесс осаждения. Это вещество называется коагулянтом.

В результате коагуляции устанавливаются мутность и цветность воды, может снижаться интенсивность привкусов и запахов.

На первом этапе после введения коагулянта в очищаемую воду происходит гидролиз его с образованием мицелл, т.е. агрегатов молекул, атомов, ионов, из которых состоит коллоидная система и последующим агрегированием в более крупные частицы. Этот период называется скрытой коагуляцией.

Затем начинается период построения цепочных структур и образования огромного количества мельчайших хлопьев, которые агрегируются в более крупные хлопья и, достигнув определённых размеров, оседают под действием силы тяжести. Наступает стадия седиментации. В действительности эти этапы не следуют строго друг за другом, а перекрываются, осложняя процесс осветления.

При добавлении в воду коагулянта, например, сульфата алюминия, происходит диссоциация реагента с последующим гидролизом металла. Диссоциация сульфата алюминия и суммарный результат гидролиза в нейтральной среде может быть описан уравнениями:



Образующийся гидроксид алюминия является коллоидом, малорастворимым веществом, который в нейтральной среде приобретает небольшой положительный заряд в результате адсорбции ионов  $H^+$  и  $Al^{3+}$ . В щелочной среде гидроксид заряжен отрицательно в результате адсорбции ионов  $AlO_2^-$ . Коллоиды  $Al(OH)_3$  коагулируются, образуя микрохлопья. Данный кратковременный процесс происходит в смесителях, и этим заканчивается первая фаза коагуляции. Во второй фазе, которая в свободном объеме воды может длиться до 60 мин., происходит агрегация микрохлопьев. При этом микрохлопья адсорбируют на свою поверхность коллоидные частицы и могут сами адсорбироваться на поверхность грубодисперсных примесей (взвешенных веществ). Процесс происходит в камерах хлопьеобразования в условиях умеренного перемешивания воды и заканчивается образованием крупных хлопьев. Удаление хлопьев из воды происходит в отстойниках или флотационных установках.

Существенной особенностью использования процесса коагуляции является очистка воды не только от грубодисперсных и коллоидных загрязнений, но и частично от растворённых примесей, в том числе красителей. Установлено, что обработкой воды коагулянтами можно устранить до 80-90% веществ, обуславливающих цветность.

Для увеличения размера хлопьев и ускорения их осаждения используют флокулянты, наиболее распространенным из которых являются полиакриламид (ПАА).

ПАА (полиакриламид) – сополимер моноакриламида и солей акриловой кислоты. Его молекулы вытянуты в цепочку. Они способны диссоциировать как по кислотному, так и по щелочному типу в зависимости от pH среды.

В процессе флокуляции макромолекулы флокулянта связываются мостиками с коллоидными частицами с образованием достаточно крупных, осаждающихся с большой скоростью, агрегатов.

При организации и проведении занятия преподаватель может использовать и другие типы флокулянтов, таким образом, у студентов появляется возможность их сравнить между собой и выбрать наиболее эффективный.

#### **Оборудование и материалы**

1. Воронка диаметром 50-80 мм;
2. Раствор гидроксида натрия концентрацией 1 моль/л;
3. Кислотный краситель – зелёный антрахиноновый 2,5%-ный раствор;
4. Мешалка;
5. Пипетки на 1 мл – 5 шт., на 5 мл и 10 мл – по 1 шт.
6. Полиакриламид 0,1%-ный раствор;
7. Пробирка на 10 мл с меткой «5» для колориметрирования;
8. Пробирки на 10 мл для приготовления шкалы образцов окраски или плёночная шкала образцов окраски «Кислотный зелёный краситель» (5-50 мг/л);
9. Стакан на 50 мл;
10. Сульфат алюминия 10%-ный раствор;
11. Фильтры «синяя лента»;
12. Цилиндр на 500 мл (высота примерно 360 мм, диаметр примерно 46 мм).

#### **Указания по технике безопасности**

Используемые при выполнении анализа растворы, реактив, посуда и другие составные части комплекта должны быть предварительно осмотрены.

При осмотре проверяют:

1. Целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;
2. Отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал и т.п.;
3. Соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, т.е. наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде и т.п.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в места для их хранения.

Входящие в состав комплекта реактивы герметично упакованы во флаконы и не представляют опасности при хранении. Хоть комплект не содержит ядовитых и сильнодействующих веществ, при работе с комплектом необходимо руководствоваться основными правилами безопасности, предусмотренными для работ в химической лаборатории. В частности, при работе в лаборатории не допустимо:

1. Попадание химикатов и растворов на слизистые оболочки, кожу, одежду;
2. Принятие пищи (питья);
3. Вдыхание воздуха и химикатов, особенно имеющих резкий запах и находящихся в мелкокристаллическом состоянии (образующих пыль);
4. При работе со стеклянными изделиями и посудой необходимо соблюдать осторожность во избежание порезов.

При проведении экспериментов по моделированию загрязнений воздуха предусмотрено использование концентрированных и разбавленных кислот – серной, соляной, азотной, муравьиной. При попадании кислот на кожу необходимо быстро промокнуть раствор любым тампоном (салфеткой, ветошью и т.п.), место попадания обильно промыть струей воды и вымыть с мылом.

Особенно опасны кислоты при попадании в глаза. В этом случае глаза необходимо немедленно обильно промыть не сильной струей воды, затем 2%-ным водным раствором соды и срочно обратиться к врачу-специалисту.

#### **Задания**

Данная работа выполняется в несколько этапов, которые проводятся в соответствии с принятым преподавателем планом.

1. На первом этапе проводится освоение метода коагуляции, включая пробное приготовление растворов загрязнителя и коагулянта.
2. На втором этапе проводят работы с рабочими растворами загрязнителя и его коагуляцию.
3. На третьем этапе проводят контроль полноты очистки, оценивая визуально интенсивность остаточной окраски раствора красителем.
4. На четвёртом этапе проводят оценку эффективности очистки.

#### **Методика проведения работы**

*Приготовление стандартной серии разведений раствора красителя зелёного антрахинонового*

##### Приготовление основного 2,5%-ного раствора

Взвешенную на весах навеску ( $5,00 \pm 0,01$  г) красителя помещают в мерную колбу, растворяют в дистиллированной воде и доводят объём раствора до 200 мл дистиллированной водой.

##### Приготовление рабочего раствора концентрацией 50 мг/л

1,0 мл основного раствора помещают с помощью пипетки в мерную колбу и доводят объём раствора до 500 мл дистиллированной водой. Полученный раствор имеет концентрацию 50 мг/л.

##### Приготовление шкалы эталонных окрашенных растворов

Рабочий раствор используют для приготовления шкалы эталонных окрашенных растворов для визуального колориметрирования при проверке точности анализа. Шкалу приготавливают в пробирках с меткой «5 мл» согласно алгоритму, приведенному в таблице 16.

Таблица 16. Алгоритм приготовления шкалы эталонных растворов серии разведений красителя зелёного антрахинонового.

Наименование раствора и порядок его использования	Количество раствора, мл
	Номер эталонного раствора (пробы)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стандартный раствор красителя с концентрацией 50 мг/л	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Дистиллированная вода	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0
Концентрация красителя в пробе, мг/л	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

*Приготовление 10%-ного раствора сульфата алюминия*

Взвешенную на весах навеску ( $39,00 \pm 0,01$  г) алюминия сульфата 18-водного ( $Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$ ), хч, ГОСТ 3758-75 помещают в колбу, растворяют в 160 мл дистиллированной воды.

*Приготовление раствора гидроксида натрия (1 моль/л)*

Взвешенную на весах навеску ( $40,00 \pm 0,01$  г) гидроксида натрия, хч, (ГОСТ 4328) помещают в мерную колбу, растворяют в дистиллированной воде и доводят объём раствора до 1000 мл дистиллированной водой. Полученный раствор имеет концентрацию 1 моль/л.

*Приготовление раствора ПАА*

Взвешенную на весах навеску ( $1,50 \pm 0,01$  г) геля ПАА (ТУ 6-01-1049-92 изм. 1-4) растворяют в 100 мл дистиллированной воды в стакане вместимостью 400 мл при использовании электромешалки. Полученный раствор имеет концентрацию приблизительно 0,1%.

*Очистка воды коагуляцией (схема очистки воды представлена на рисунке 26)*

1. В цилиндр налейте 200-300 мл водопроводной воды, добавьте из склянки с раствором красителя пипеткой 1 мл красителя, доведите водой до метки (500 мл) и перемешайте до получения равномерно окрашенного раствора (концентрация красителя в растворе составит 50 мг/л).

2. В этот раствор пипеткой введите 1,0 мл раствора гидроксида натрия NaOH (1 моль/л эквивалента), перемешайте и добавьте пипеткой 1,5 мл раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  и интенсивно перемешивайте в течение 2 минут. При этом в растворе появляются мелкие хлопья продуктов гидролиза  $Al_2(SO_4)_3$ , а интенсивность окраски уменьшается.

3. Далее в цилиндр пипеткой добавьте 2 мл раствора ПАА и медленно перемешивайте в течение 1 минуты.

4. Оставьте систему в покое на 15-20 минут, наблюдая за образованием достаточно крупных, постепенно осаждающихся хлопьев.

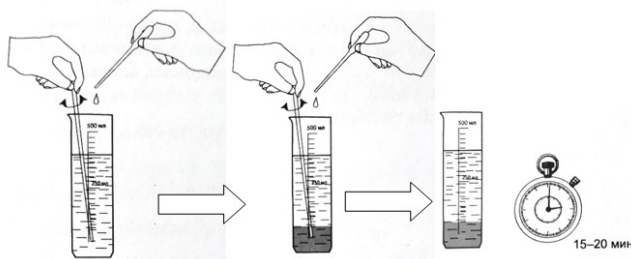


Рисунок 26. Схема очистки воды коагуляцией

*Контроль полноты очистки (схема контроля полноты очистки представлена на рисунке 27)*

1. Через 15-20 минут пипеткой отберите 10-20 мл воды из верхней части цилиндра с наименьшим содержанием твёрдой фазы, отфильтруйте в стеклянный стакан через бумажный фильтр, собирая обесцвеченную воду в стакане.

2. Колориметрическую пробирку сполосните несколько раз обесцвеченной водой, налейте в неё до метки обесцвеченную воду (5 мл) и сравните окраску воды с контрольной шкалой, выбирая ближайший по характеру окраски образец шкалы.

Окраску наблюдайте сбоку при достаточном освещении. Для повышения точности измерения используйте фотоколориметр

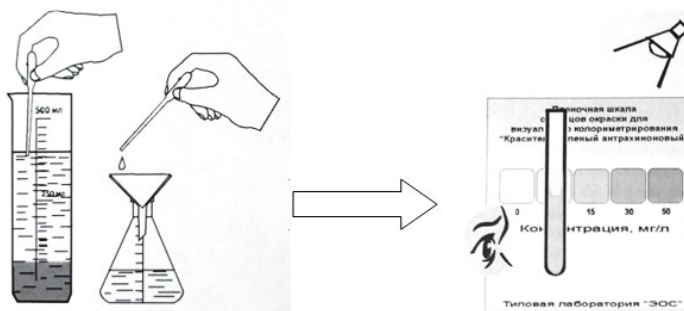


Рисунок 27. Схема контроля полноты очистки

### Содержание отчета

Результат анализа представьте в виде:

«*близко к концентрации красителя* \_\_\_мл/л».

В случае окраски пробы, соответствующей промежуточной окраске образцов, результат анализа представляйте в виде:

«*концентрация красителя от \_\_\_ до \_\_\_ мл/л*».

При необходимости повторите определение, сделайте вывод об эффективности обесцвечивания воды.

#### Оценка эффективности очистки

Эффективность обесцвечивания определяется по величине степени очистки:

$$\alpha = (c_0 - c) / c_0, \quad (12)$$

где  $c_0$  и  $c$  – содержание красителя до и после очистки, мг/л.

После проведения опыта цилиндр, мешалку, пипетки, воронку, стакан и колориметрическую пробирку промойте чистой водой, а склянки с растворами красителя,  $Al_2(SO_4)_3$ , NaOH, ПАА герметично закройте.

### Контрольные вопросы

#### Базовый уровень

1. Какой процесс называется коагуляцией?
2. На какой стадии коагуляции протекает обесцвечивание воды, а на какой – осветление?
3. Какое вещество образуется в результате гидролиза  $Al_2(SO_4)_3$  в нейтральной среде?
4. Каково назначение флокулянтов?
5. Зачем в раствор красителя (сточной воды) перед добавлением коагулянта добавляют определенное количество гидроксида натрия?

#### Повышенный уровень

1. Для удаления каких загрязнений предназначены физико-химические и химические методы очистки сточных вод?
2. Какими способами осуществляют физико-химическую очистку?
3. С какой целью используют коагуляционные установки?
4. Охарактеризуйте принцип очистки методом флотации.
5. Какие процессы лежат в основе биологической очистки сточных вод?
6. От каких факторов зависит эффективность биологической очистки?

## Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

### Основная литература:

1. Околелова, А. А. Экологический мониторинг : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.А. Околелова, Г.С. Егорова ; Волгоградский государственный технический университет. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 116 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>
2. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза Электронный ресурс : Учебное пособие / А. В. Шамраев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. - 141 с. - ISBN 2227-8397

### Дополнительная литература:

- 1 Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии : учеб. / А. Н. Голицын. - М. : ИРПО : Академия, 2002. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 237. - ISBN 5-8222-0114-8(ИРПО). - ISBN 5-7695-0748-9(Издат. центр "Академия")
- 2 Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : [учеб. пособие] / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. - Мн. : Вышэйшая школа, 2001. - 343 с. : ил. - Библиогр.: с. 334-336. - ISBN 985-06-0584-7
- 3 Тихонова, И. О. Экологический мониторинг атмосферы : учеб. пособие для вузов / И.О. Тихонова, В.В. Тарасов, Н.Е. Кручинина. -2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. - 131с. : ил. ; 21. - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 129. - ISBN 978-5-91134-667-6. - ISBN 978-5-16-006032-3

### Интернет-ресурсы:

- 1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
- 3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
- 4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.
- 5 <https://openedu.ru> – Открытое образование
- 6 <http://ecograde.bio.msu.ru> – Информационная система «Фундаментальные проблемы оценки состояния экосистем и экологического нормирования»

### Лабораторная работа 4. Очистка воздуха от диоксида углерода абсорбцией

Цель работы: Изучение работы абсорбционной установки по очистке воздуха от диоксида углерода.

Формируемые компетенции или их части:

Индекс	Формулировка:
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК -14	умением проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

### Теоретическая часть

Абсорбцией называют процесс поглощения газов или паров из газовых или парогазовых смесей жидкими поглотителями – абсорбентами.

Физическая абсорбция сопровождается растворением поглощаемого газа без химического воздействия с абсорбентом. Если поглощённое вещество образует с абсорбентом химическое соединение, то такой процесс называют хемосорбцией.

Физическая абсорбция в большинстве случаев обратима, что позволяет выделить поглощённое вещество из поглотителя и повторно его использовать. Процесс выделения вещества из поглотителя называется десорбцией.

В промышленности процессы абсорбции применяют для извлечения из газовых смесей различных компонентов. Кроме того, абсорбция применяется для очистки от вредных примесей газовых потоков, выбрасываемых в атмосферу.

Растворимость извлекаемых из газовых смесей компонентов зависит от свойств газа и поглотителя, состава газовой смеси, давления и температуры. Растворимость газа в жидкости увеличивается с повышением давления и снижением температуры.

Абсорбция – массообменный процесс, поэтому движущей силой является разность концентраций поглощаемого вещества в газовой и жидкой фазах.

Важное значение для очистки газовых выбросов имеет абсорбция, сопровождающаяся химической реакцией. Если реакция протекает в жидкой фазе, то часть подгущаемого вещества переходит в связанное состояние. При этом концентрация свободного компонента в жидкости меньше, чем при физической абсорбции. Следовательно, увеличивается разность концентраций вещества в газовой и жидкой фазах, т.е. движущая сила процесса, что приводит к ускорению абсорбции.

Аппараты для проведения абсорбционных процессов называются абсорберами.

Широкое распространение в промышленности получили насадочные абсорберы, которые представляют собой колонны, заполненные насадкой – твёрдыми телами различной формы.

Абсорбент стекает по насадке вниз тонкой жидкой плёнкой, образуя поверхность контакта с газом, который поднимается вверх по каналам между элементами насадки.

Целью работы является демонстрация работы абсорбера по очистке воздуха от диоксида углерода.

*Особенности выполнения работ с использованием индикаторных трубок*

При работах с использованием индикаторных трубок для контроля концентраций диоксида углерода следует иметь в виду, что индикаторные трубки применяются совместно с аспиратором НП-3М или аналогичного типа. Кроме того, экспресс-анализ концентрации диоксида углерода носит характер измерения, т.е. выполняется количественным методом. Для правильности выполнения лабораторной работы и расчёта эффективности очистки установок необходимо правильно выполнять операции экспресс-анализа.

Индикаторные трубки для экспресс-анализа диоксида углерода являются трубками колориметрического типа. Принцип их действия основан на фильтрации загрязнённого воздуха через наполнитель индикаторной трубки (индикаторный порошок) при просасывании его с помощью насоса-пробоотборника. При этом происходит поглощение определяемого компонента из воздуха и избирательная химическая реакция с нанесённым на наполнитель реагентом, приводящая к образованию окрашенных продуктов.

При использовании колористической индикаторной трубки концентрацию определяют по длине прореагировавшего (изменившего окраску) слоя индикаторной массы, ограниченного началом шкалы и внешней границей окрашенного слоя (Рисунок 28).



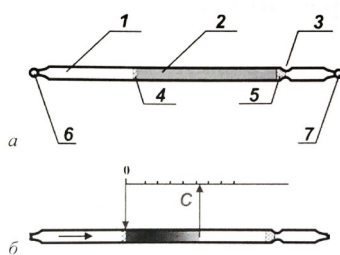


Рисунок 28. Колористическая индикаторная трубка:

*a* – устройство: 1 – корпус; 2 – наполнитель; 3 – перетяжка; 4,5 – тампоны; 6,7 – запаянные концы;

*б* – принцип действия (определение концентрации по длине изменившего окраску слоя наполнителя).

Аспиратор предназначен для просасывания заданного объема пробы воздуха через индикаторные трубки. В лабораторной работе используется в качестве аспиратора ручной поршневой насос-пробоотборник НП-3М либо аспиратор аналогичного типа.

Работа аспиратора НП-3М (Рисунок 29) основана на создании разрежения в цилиндре (2) при перемещении штока (3) и заполнении цилиндра газовой средой, поступающей через индикаторную трубку, установленную в уплотнительную втулку (4) на насадке (1). При приведении аспиратора в исходное положение из цилиндра выходит через обратный клапан.

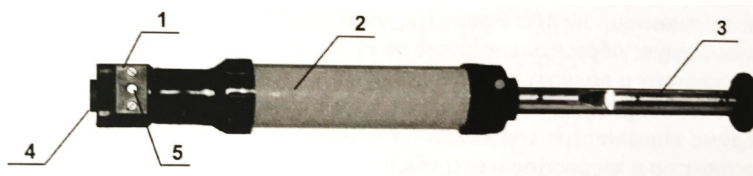


Рисунок 29. Внешний вид аспиратора НП-3М:

1 – насадка; 2 – цилиндр; 3 – шток; 4 – уплотнительная втулка; 5 – сигнальное устройство (индикатор завершения прососа)

Отверстие на насадке аспиратора НП-3М предназначено для вскрытия запаянных концов индикаторной трубки.

Аспиратор снабжён сигнальным устройством – индикатором завершения прососа (5) для контроля окончания просасывания пробы, представляющим собой контрольную мембрану, закреплённую под смотровым окошком. При создании разрежения в цилиндре контрольная мембрана прогибается и при этом из смотрового окошка пропадает изображение чёрной точки. При уравнивании давления внутри цилиндра с атмосферным давлением мембрана возвращается в исходное положение. При этом в смотровом окошке появляется изображение чёрной точки, свидетельствующее об окончании просасывания пробы через индикаторную трубку.

Перед началом работы необходимо провести внешний осмотр и проверку работоспособности аспиратора.

При внешнем осмотре выявляют признаки непригодности (потери качества) индикаторных трубок, к которым относятся:

- истёк срок годности трубок;
- обломаны концы трубки или один из них;
- рассыпан наполнитель;
- имеются следы влаги на внутренней поверхности трубки;
- изменилась первоначальная (сиренево-голубая) окраска наполнителя.

При проверке работоспособности аспиратора предварительно проверяют на герметичность. Для этого проводят пробное покачивание воздуха, заглушив отверстие входа воздуха каким-либо способом, например, невскрытой индикаторной трубкой. Пробное покачивание воздуха выполняют аналогично рабочему. О герметичности

асpirатора НМ-3М свидетельствует возвращение поршня в исходное положение после его вытягивания из корпуса примерно на 1/3 длины штока.

При выполнении экспресс-анализа диоксида углерода индикаторными трубками следует обратить внимание на правильность подсоединения трубок к аспиратору и полноту покачивания.

Для более подробного ознакомления с правилами выполнения операций необходимо внимательно ознакомиться с эксплуатационной документацией на аспиратор и индикаторные трубки.

#### **Оборудование и материалы**

1. Абсорбционная колонка;
2. Аспиратор типа «Насос-пробоотборник НП-3М» или аналогичный;
3. Водоструйный насос;
4. Зажим;
5. Индикаторные трубки ТИ-[CO<sub>2</sub>-2% об] или аналогичные для определения диоксида углерода – 1 уп. (20 шт.);
6. Карбонат натрия – 1 кг;
7. Колбы К-1-100-29-32 – 2 шт.;
8. Насадка (Кольца Рашига) – 100 см<sup>3</sup>;
9. Пробка стеклянная 29/32 с трубкой;
10. Пробка стеклянная 29/32 с отводом;
11. Трехходовой кран – 3 шт.;
12. Сосуд Мариотта;
13. Стойка-штатив для крепления элементов установки;
14. Трубка соединительная силиконовая.

#### **Указания по технике безопасности**

Используемые при выполнении анализа растворы, реактив, посуда и другие составные части комплекта должны быть предварительно осмотрены.

При осмотре проверяют:

1. Целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;
2. Отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал и т.п.;
3. Соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, т.е. наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде и т.п.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в места для их хранения.

Входящие в состав комплекта реактивы герметично упакованы во флаконы и не представляют опасности при хранении. Хоть комплект не содержит ядовитых и сильнодействующих веществ, при работе с комплектом необходимо руководствоваться основными правилами безопасности, предусмотренными для работ в химической лаборатории. В частности, при работе в лаборатории не допустимо:

1. Попадание химикатов и растворов на слизистые оболочки, кожу, одежду;
2. Принятие пищи (питья);
3. Вдыхание воздуха и химикатов, особенно имеющих резкий запах и находящихся в мелкокристаллическом состоянии (образующих пыль);
4. При работе со стеклянными изделиями и посудой необходимо соблюдать осторожность во избежание порезов.

При проведении экспериментов по моделированию загрязнений воздуха предусмотрено использование концентрированных и разбавленных кислот – серной, соляной, азотной, муравьиной. При попадании кислот на кожу необходимо быстро промокнуть раствор любым тампоном (салфеткой, ветошью и т.п.), место попадания обильно промыть струей воды и вымыть с мылом.

Особенно опасны кислоты при попадании в глаза. В этом случае глаза необходимо немедленно обильно промыть не сильной струей воды, затем 2%-ным водным раствором соды и срочно обратиться к врачу-специалисту.

При подготовке и проведении анализов с применением индикаторных трубок основным фактором опасности является травмирование кожи рук и глаз острыми краями трубок или осколками стекла при вскрытии и соединении стеклянных трубок.

Для предотвращения травмирования при вскрытии стеклянных трубок запаянные концы следует отламывать осторожно, чтобы избежать порезов и попадания осколков стекла в глаза. При подсоединении и отсоединении вскрытой трубки её следует держать как можно ближе к концу, вставляемому в аспиратор, избегая при этом сильного нажима на трубку и сдавливания её руками.

При проведении анализов рекомендуется применять средства индивидуальной защиты: защитные очки, резиновые перчатки.

В случаях возникновения травм первую помощь следует оказывать на месте, для чего необходимо иметь индивидуальную аптечку.

При попадании инородного тела в глаза многократно промойте поражённое место поточной водой. При порезах края раны обработайте антисептиком и закройте стерильным пластырем или бинтом. При попадании осколков стекла под кожу или сильных порезах обратитесь к врачу.

Утилизировать индикаторные трубки (использованные либо с истекшим сроком годности) следует только в специальные мусорные контейнеры. Не выбрасывайте использованные трубки в воду и не оставляйте их в месте проведения анализа.

### Задания

Установка для данной лабораторной работы (Рисунок 30) состоит из стеклянного абсорбера (4), заполненного насадкой (5). Очищаемый воздух из помещения поступает в абсорбер через штуцер (8) и трёхходовой кран (9).

Примечание: в составе набора возможно использование тройника с зажимами вместо трёхходового крана.

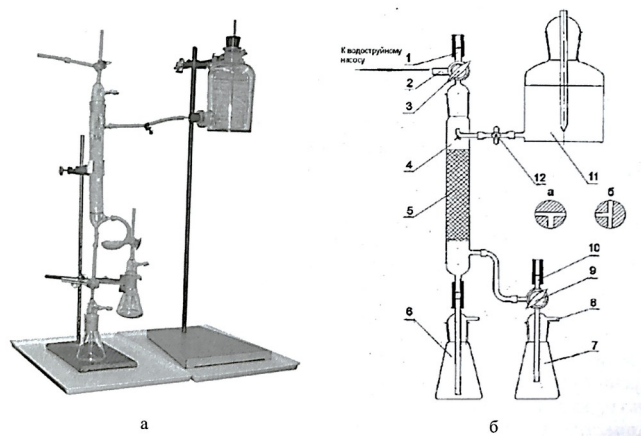


Рисунок 30. Абсорбционная установка:

*а* – установка на штативах в сборе; *б* – схема установки.

При недостаточной концентрации диоксида углерода в воздухе его содержание может быть увеличено, например, при взаимодействии мела или мрамора и раствора любой кислоты, которые помещаются в коническую колбу (7).

Абсорбент поступает в абсорбер из сосуда Мариотта (11), стекает по насадке и собирается в колбе (6). Конец трубки в колбе должен находиться под уровнем жидкости для того, чтобы предотвратить подсос воздуха. В качестве поглотителя используется 5-10%-ный водный раствор карбоната натрия. Очищенный от диоксида углерода воздух отводится из абсорбера через трёхходовой кран (3) и штуцер (2), который соединяется с побудителем тяги, например, водоструйным насосом. Штуцеры (1 и 10) служат для отбора проб воздуха на анализ.

Данная работа выполняется в несколько этапов, которые проводятся в соответствии с принятым преподавателем планом.

1. На первом этапе проводится освоение правил подготовки и обслуживания установок, методики применения индикаторных трубок совместно с аспиратором при изменениях концентрации двуокиси углерода.

2. На втором этапе выполняют рабочие операции по эксплуатации установки по очистке воздуха, измерение концентрации диоксида углерода.

3. На третьем этапе проводят оценку эффективности очистки.

*Приготовление 10%-ного раствора карбоната натрия*

Взвешенную на весах навеску 100 г карбоната натрия, хч, (ГОСТ 84 (83)) растворяют в 900 мл дистиллированной воды.

#### **Методика проведения работы**

*Подготовка и обслуживание установки*

Включают побудитель тяги, например, водоструйный насос. Пробки кранов (3 и 9) устанавливаются в положение, представленное на рисунке 30, а.

Раствор карбоната натрия заливают в сосуд Мариотта и закрывают его пробкой со стеклянной трубкой.

Открывая зажим (12) на линии подачи абсорбента, устанавливают расход жидкости (50-60 капель в минуту).

Через 5-10 мин после начала работы установки пробки кранов (3 и 9) устанавливают в положения, показанные на рисунке 30, б.

Отбирают пробы воздуха до и после абсорбера, подсоединяя индикаторные трубки к штуцерам (1 и 10).

Закрывают подачу поглотителя и выключают побудитель тяги (водоструйный насос).

*Контроль концентрации диоксида углерода*

*Методика определения концентрации диоксида углерода с помощью индикаторных трубок (Схема определения представлена на рисунке 31).*

Перед началом работы внимательно прочитайте инструкцию по применению индикаторных трубок и насоса.

1. Вскройте индикаторную трубку на  $\text{CO}_2$  с обоих концов, используя отверстие в головке насоса. Обратите внимание на первоначальный цвет наполнителя индикаторных трубок.

2. Присоедините индикаторную трубку со стороны выхода воздуха к насосу.

3. Прокачайте через индикаторную трубку воздух помещения (улицы, парка) в количестве, указанном в инструкции по применению индикаторной трубки, сделав требуемое количество качаний насосом.

Примечание: При 1 полном прокачивании насосом через индикаторную трубку просасывается  $100 \text{ см}^3$  воздуха. Момент окончания прокачивания контролируйте по индикатору завершения прососа (около 1 мин.). Об окончании цикла просасывания свидетельствует появление чёткого изображения точки в окошке индикатора.

4. Отмерьте изменение окраски наполнителя и длину прореагировавшего столбика наполнителя после прокачивания. Расположите индикаторную трубку рядом со шкалой, изображённой на этикетке, и определите величину концентрации углекислого газа ( $C_2$ ) в  $\text{мг/м}^3$  по границе столбика, изменившего окраску.

5. При необходимости пересчитайте концентрацию  $\text{CO}_2$  из  $\text{мг/м}^3$  в объёмные % по формуле (13):

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot 10^{-4} \cdot 22,4}{M}, \quad (13)$$

где:  $C_1$  – концентрация газа в объёмных %;

$C_2$  – концентрация газа в  $\text{мг/м}^3$ ;

$M$  – молярная концентрация углекислого газа ( $M=44$ ).

Примечание: Для удобства работы индикаторные трубки рекомендуется подсоединять к штуцеру с использованием коротких (3-5 см) полимерных трубок из состава оборудования.



Рисунок 31. Схема определения концентрации диоксида углерода с помощью индикаторных трубок

### Содержание отчета

*Оценка эффективности очистки*

Рассчитывают эффективность очистки воздуха по формуле (14):

$$\eta = 1 - \left( \frac{C_k}{C_n} \right), \quad (14)$$

где  $C_n$  и  $C_k$  – концентрации диоксида углерода в воздухе до и после абсорбера соответственно.

### Контрольные вопросы

#### Базовый уровень

1. Какой процесс называется абсорбцией?
2. Что является движущей силой процесса абсорбции?
3. Что такое физическая абсорбция и хемосорбция?

#### Повышенный уровень

1. В каких аппаратах осуществляется процесс абсорбции?
2. В чем заключается принцип работы тарельчатых и насадочных абсорберов?

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

#### Основная литература:

1. Околелова, А. А. Экологический мониторинг : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.А. Околелова, Г.С. Егорова ; Волгоградский государственный технический университет. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 116 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>
2. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза Электронный ресурс : Учебное пособие / А. В. Шамраев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. - 141 с. - ISBN 2227-8397

#### Дополнительная литература:

- 1 Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии : учеб. / А. Н. Голицын. - М. : ИРПО : Академия, 2002. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 237. - ISBN 5-8222-0114-8(ИРПО). - ISBN 5-7695-0748-9(Издат. центр "Академия")
- 2 Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : [учеб. пособие] / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. - Мн. : Вышэйшая школа, 2001. - 343 с. : ил. - Библиогр.: с. 334-336. - ISBN 985-06-0584-7
- 3 Тихонова, И. О. Экологический мониторинг атмосферы : учеб. пособие для вузов / И.О. Тихонова, В.В. Тарасов, Н.Е. Кручинина. -2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ФОРУМ :

**Интернет-ресурсы:**

- 1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
- 3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
- 4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.
- 5 <https://openedu.ru> – Открытое образование
- 6 <http://ecograde.bio.msu.ru> – Информационная система «Фундаментальные проблемы оценки состояния экосистем и экологического нормирования»

**Лабораторная работа 5. Очистка воздуха от диоксида углерода адсорбцией**

Цель работы: Изучение работы адсорбера по очистке воздуха от диоксида углерода.  
Формируемые компетенции или их части:

Индекс	Формулировка:
ПК-9	умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК -14	умением проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ

**Теоретическая часть**

Для разделения однородных и неоднородных систем используют сорбционные процессы, основанные на явлении сорбции. Сорбция – любой процесс поглощения одного вещества (сорбтива) другим (сорбентом). В зависимости от механизма поглощения различают абсорбцию, десорбцию, адсорбцию.

Адсорбцией называют процесс поглощения одного или нескольких компонентов из газовой смеси твёрдым веществом – адсорбентом.

Адсорбция имеет много общего с абсорбцией: и там, и там идёт поглощение целевого компонента из газа. Но в абсорбции для поглощения используется жидкость, а в адсорбции – твёрдое вещество. Но есть и существенные различия:

1. Процесс адсорбции является периодическим, а процесс абсорбции – непрерывным;
2. При абсорбции можно удалить значительную часть вещества, но не всё вещество, а при адсорбции удалить вещество можно практически полностью.

Процессы адсорбции широко применяются в промышленности для очистки и осушки газов, разделение смесей газов и паров, извлечения паров органических веществ из смеси с воздухом. Адсорбция часто используется для очистки газовых потоков, выбрасываемых в атмосферу, с целью уменьшения загрязнения вредными примесями окружающей среды.

В мировой практике используют три способа организации процесса адсорбции:

1. Адсорбция на стационарном слое;
2. Адсорбция в движущемся слое;
3. Адсорбция в кипящем слое.

Разновидностью первого способа является адсорбция со сменными контейнерами адсорбента, которые уничтожаются.

На отечественных производствах применяется только адсорбция на стационарном слое с регенерацией.

В литературе подробно описываются и процессы с псевдооживлением, и адсорберы с движущимся слоем, но из-за своей сложности в отечественной промышленности эти способы не применяются.

Промышленный адсорбер – это цилиндрический аппарат.

Процессы адсорбции избирательны и обычно обратимы. Это значит, что каждый поглотитель обладает способностью поглощать лишь определенные вещества и не поглощает (или почти не поглощает) другие вещества, содержащиеся в газовой смеси или растворе. Благодаря обратимости становится возможным выделение адсорбированного вещества и восстановление поглотительных свойств адсорбента. Этот процесс называют десорбцией. Для того чтобы процесс был эффективным, активная поверхность адсорбента должна быть велика. Аппараты для поведения процесса адсорбции называются адсорберами.

Процесс адсорбции отличается от других массообменных процессов тем, что является неустановившимся: имеет начало и имеет конец. Что делать, когда этот конец наступил и адсорбент отработал своё время? Тут всё решают экономика и экология.

Можно направлять отработанный адсорбент в отход и заменять его новым. Такой путь возможен, если количество адсорбата невелико или процесс замены проводится редко. Понятно, что стоимость свежего адсорбента должна быть меньше затрат на его регенерацию. Если адсорбат не является токсичным или канцерогенным веществом и если он нерастворим в воде, то адсорбент можно вывезти на полигон. В противном случае его сжигают. Однако в большинстве случаев адсорбент подвергается регенерации.

Десорбцию можно осуществить следующими методами:

1. Нагревание адсорбента до температуры выше температуры кипения адсорбата;
2. Вакуумирование, если при нагревании адсорбента начинается разложение адсорбата;
3. Продувка инертным газом (снова получаем газовый поток с адсорбтивом, который поглощали);
4. Вытеснение адсорбата водяным паром или другим веществом, которое поглощается лучше;
5. Комбинация названных способов.

На практике регенерацию проводят, как правило, водяным паром. При этом одновременно происходит нагревание адсорбента. После проведения процесса получается смесь конденсата водяного пара и поглощённого компонента. Эта смесь может быть гомогенной или гетерогенной. В любом случае её надо разделять, так как адсорбат или имеет материальную ценность (дорог), или токсичен. Или и то, и другое. Поэтому сливать конденсат в канализацию нельзя. Отделение целевого компонента от воды – самостоятельная проблема.

После десорбции водяным паром (пропарки) адсорбент, во-первых, будет насыщен водой, во-вторых, он горячий. Поэтому его продувают воздухом для удаления воды и охлаждения.

Различают физическую и химическую адсорбцию. Физическая адсорбция обусловлена взаимным притяжением молекул поглощаемого вещества и адсорбента и не сопровождается химическим взаимодействием. При химической адсорбции молекулы поглощаемого вещества вступают в химическую реакцию с молекулами на поверхности поглотителя. Такой процесс адсорбции не обратим. Если между веществами происходит химическое взаимодействие, то процесс называется хемосорбцией.

В качестве адсорбента используются пористые твёрдые вещества. Эффективность адсорбента зависит от поверхности пор и, главным образом, от наличия микропор, размеры которых составляют  $(2 \times 10^{-6}) \times (6 \times 10^{-6})$  мм.

В промышленности наиболее распространенными адсорбентами являются активные угли, силикагели (гель кремниевой кислоты), алюмогели (гидроокись алюминия), цеолиты, глины и другие природные адсорбенты.

Активные угли получают путём сухой перегонки углеродосодержащих веществ (дерево, торф, кости и др.). Полученный уголь для повышения его пористости, а значит и активности, активируют прокаливанием при температуре 800-900°C. Удельная поверхность пор 600-1700 м<sup>2</sup>/г. Активные угли поглощают пары органических веществ, поэтому часто используются для очистки вентиляционных выбросов, а также в противогазах. Недостатками активного угля является его горючесть и непрочность.

#### **Оборудование и материалы**

1. Адсорбционная колонка;
2. Аспиратор типа «Насос-пробоотборник НП-3М» или аналогичный;
3. Водоструйный насос;
4. Индикаторные трубки ТИ-[CO<sub>2</sub>-2% об] или аналогичные для определения диоксида углерода – 1 уп. (20 шт.);
5. Колба К-1-100-29/32;
6. Пробка стеклянная 29/32 с трубкой;
7. Пробка стеклянная 29/32 с отводом;
8. Трехходовой кран – 2 шт.;
9. Стойка-штатив для крепления элементов установки;
10. Трубка соединительная силиконовая;
11. Цеолит – 500 г.

#### **Указания по технике безопасности**

Используемые при выполнении анализа растворы, реактив, посуда и другие составные части комплекта должны быть предварительно осмотрены.

При осмотре проверяют:

1. Целостность и герметичность упаковки растворов, реактивов;
2. Отсутствие повреждений мерной посуды, пробирок, контрольных шкал и т.п.;
3. Соответствие выбранного для использования реактива (раствора) или посуды требованиям методики анализа, т.е. наличие хорошо и однозначно читаемой этикетки, меток на мерной посуде и т.п.

После проведения анализа мерные склянки и пипетки следует промыть чистой водой, склянки с растворами необходимо герметично закрыть и уложить в места для их хранения.

Входящие в состав комплекта реактивы герметично упакованы во флаконы и не представляют опасности при хранении. Хотя комплект не содержит ядовитых и сильнодействующих веществ, при работе с комплектом необходимо руководствоваться основными правилами безопасности, предусмотренными для работ в химической лаборатории. В частности, при работе в лаборатории не допустимо:

1. Попадание химикатов и растворов на слизистые оболочки, кожу, одежду;
2. Принятие пищи (питья);
3. Вдыхание воздуха и химикатов, особенно имеющих резкий запах и находящихся в мелкодисперсном состоянии (образующих пыль);
4. При работе со стеклянными изделиями и посудой необходимо соблюдать осторожность во избежание порезов.

При проведении экспериментов по моделированию загрязнений воздуха предусмотрено использование концентрированных и разбавленных кислот – серной, соляной, азотной, муравьиной. При попадании кислот на кожу необходимо быстро промокнуть раствор любым тампоном (салфеткой, ветошью и т.п.), место попадания обильно промыть струей воды и вымыть с мылом.



Особенно опасны кислоты при попадании в глаза. В этом случае глаза необходимо немедленно обильно промыть не сильной струей воды, затем 2%-ным водным раствором соды и срочно обратиться к врачу-специалисту.

При подготовке и проведении анализов с применением индикаторных трубок основным фактором опасности является травмирование кожи рук и глаз острыми краями трубок или осколками стекла при вскрытии и соединении стеклянных трубок.

Для предотвращения травмирования при вскрытии стеклянных трубок запаянные концы следует отламывать осторожно, чтобы избежать порезов и попадания осколков стекла в глаза. При подсоединении и отсоединении вскрытой трубки её следует держать как можно ближе к концу, вставляемому в аспиратор, избегая при этом сильного нажима на трубку и сдавливания её руками.

При проведении анализов рекомендуется применять средства индивидуальной защиты: защитные очки, резиновые перчатки.

В случаях возникновения травм первую помощь следует оказывать на месте, для чего необходимо иметь индивидуальную аптечку.

При попадании инородного тела в глаза многократно промойте поражённое место поточной водой. При порезах края раны обработайте антисептиком и закройте стерильным пластырем или бинтом. При попадании осколков стекла под кожу или сильных порезах обратитесь к врачу.

Утилизировать индикаторные трубки (использованные либо с истекшим сроком годности) следует только в специальные мусорные контейнеры. Не выбрасывайте использованные трубки в воду и не оставляйте их в месте проведения анализа.

### Задания

Адсорбционная установка для данной лабораторной работы (Рисунок 32) состоит из стеклянного адсорбера (4), заполненного твёрдым поглотителем – цеолитом (5). Очищаемый воздух из помещения поступает в адсорбер через штуцер (7) и коническую колбу (6).

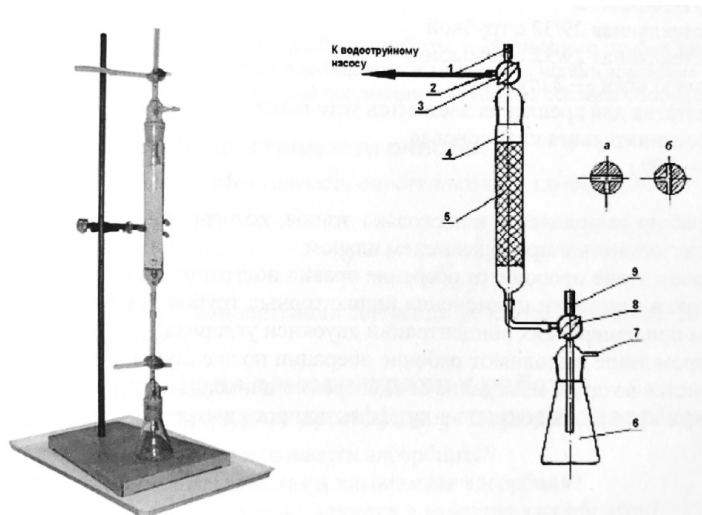


Рисунок 32. Адсорбционная установка:

*а* – установка в собранном виде на штативе; *б* – схема установки.

При недостаточной концентрации диоксида углерода в воздухе его содержание может быть увеличено, например, при взаимодействии мела или мрамора и раствора любой кислоты, которые помещаются в коническую колбу (6).

Очищенный от диоксида углерода воздух отводится из адсорбера через кран (3) и штуцер (2), который соединяется шлангом с побудителем тяги, например, водоструйным насосом. Через штуцеры (9 и 1) отбираются пробы воздуха для определения концентрации диоксида углерода до и после адсорбера. На штуцерах имеются короткие резиновые шланги для подсоединения индикаторных трубок. Содержание диоксида углерода

определяется при помощи индикаторных трубок по методике, прилагаемой к комплекту трубок.

Данная работа выполняется в несколько этапов, которые проводятся в соответствии с принятым преподавателем планом.

1. На первом этапе проводится освоение правил подготовки и обслуживания установки, методики применения индикаторных трубок совместно с аспиратором при изменениях концентрации двуокиси углерода.

2. На втором этапе выполняют рабочие операции по эксплуатации установки по очистке воздуха, измерение концентрации диоксида углерода.

3. На третьем этапе проводят оценку эффективности очистки.

#### **Методика проведения работы**

##### *Подготовка и обслуживание установки*

Включают побудитель тяги, например, водоструйный насос. Пробки кранов (3 и 8) устанавливают в положение, представленном на рисунке 31, а.

Через 5-10 мин после начала работы установки пробки кранов (3 и 8) переводят в положение, представленное на рисунке 31, б.

Отбирают пробы воздуха до и после абсорбера, подсоединяя индикаторные трубки к штуцерам (9 и 1).

Отключают побудитель тяги.

##### *Контроль концентрации диоксида углерода*

*Методика определения концентрации диоксида углерода с помощью индикаторных трубок (Схема определения представлена на рисунке 32).*

Перед началом работы внимательно прочитайте инструкцию по применению индикаторных трубок и насоса.

6. Вскройте индикаторную трубку на  $\text{CO}_2$  с обоих концов, используя отверстие в головке насоса. Обратите внимание на первоначальный цвет наполнителя индикаторных трубок.

7. Присоедините индикаторную трубку со стороны выхода воздуха к насосу.

8. Прокачайте через индикаторную трубку воздух помещения (улицы, парка) в количестве, указанном в инструкции по применению индикаторной трубки, сделав требуемое количество качаний насосом.

Примечание: При 1 полном прокачивании насосом через индикаторную трубку просасывается  $100 \text{ см}^3$  воздуха. Момент окончания прокачивания контролируйте по индикатору завершения прососа (около 1 мин.). Об окончании цикла просасывания свидетельствует появление чёткого изображения точки в окошке индикатора.

9. Отмерьте изменение окраски наполнителя и длину прореагировавшего столбика наполнителя после прокачивания. Расположите индикаторную трубку рядом со шкалой, изображённой на этикетке, и определите величину концентрации углекислого газа ( $\text{C}_2$ ) в  $\text{мг/м}^3$  по границе столбика, изменившего окраску.

10. При необходимости пересчитайте концентрацию  $\text{CO}_2$  из  $\text{мг/м}^3$  в объёмные % по формуле (14):

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot 10^{-4} \cdot 22,4}{M}, \quad (14)$$

где:  $C_1$  – концентрация газа в объёмных %;

$C_2$  – концентрация газа в  $\text{мг/м}^3$ ;

$M$  – молярная концентрация углекислого газа ( $M=44$ ).

Примечание: Для удобства работы индикаторные трубки рекомендуется подсоединять к штуцеру с использованием коротких (3-5 см) полимерных трубок из состава оборудования.



Рисунок 32. Схема определения концентрации диоксида углерода с помощью индикаторных трубок

### Содержание отчета

*Оценка эффективности очистки*

Рассчитывают эффективность очистки воздуха по формуле (14):

$$\eta = 1 - \left( \frac{C_k}{C_n} \right), \quad (14)$$

где  $C_n$  и  $C_k$  – концентрации диоксида углерода в воздухе до и после абсорбера соответственно.

### Контрольные вопросы

#### Базовый уровень

1. Какой процесс называется адсорбцией?
2. Что такое физическая и химическая адсорбция?
3. Какие вещества используются в качестве адсорбентов?
4. Перечислите основные характеристики адсорбентов?
5. Методы контроля качества оборудования в сфере экологической безопасности
6. Основы анализа причин нарушений экологизации технологических процессов и разработка мероприятий по их предупреждению
7. Основы проведения мероприятий по соблюдению экологической безопасности проводимых работ

#### Повышенный уровень

1. Что такое изотерма адсорбции и ее информативность?
2. Какие виды изотерм адсорбции Вы знаете?

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

#### Основная литература:

1. Околелова, А. А. Экологический мониторинг : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.А. Околелова, Г.С. Егорова ; Волгоградский государственный технический университет. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 116 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>
2. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза Электронный ресурс : Учебное пособие / А. В. Шамраев. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. - 141 с. - ISBN 2227-8397

#### Дополнительная литература:

- 1 Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии : учеб. / А. Н. Голицын. - М. : ИРПО : Академия, 2002. - 240 с. : ил. - Библиогр.: с. 237. - ISBN 5-8222-0114-8(ИРПО). - ISBN 5-7695-0748-9(Издат. центр "Академия")
- 2 Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : [учеб. пособие] / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. - Мн. : Вышэйшая школа, 2001. - 343 с. : ил. - Библиогр.: с. 334-336. - ISBN 985-06-0584-7

3 Тихонова, И. О. Экологический мониторинг атмосферы : учеб. пособие для вузов / И.О. Тихонова, В.В. Тарасов, Н.Е. Кручинина. -2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. - 131с. : ил. ; 21. - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 129. - ISBN 978-5-91134-667-6. - ISBN 978-5-16-006032-3

***Интернет-ресурсы:***

- 1 <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 2 <http://biblioclub.ru/> — ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
- 3 <http://catalog.ncstu.ru/> — электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
- 4 <http://www.iprbookshop.ru> — ЭБС.
- 5 <https://openedu.ru> – Открытое образование
- 6 <http://ecograde.bio.msu.ru> – Информационная система «Фундаментальные проблемы оценки состояния экосистем и экологического нормирования»