Государственное нетиповое бюджетное учреждение

«Санкт-Петербургский городской дворец творчества юных»

Эколого-биологический центр «Крестовский остров»

Тема: «Количественное определение ионов тяжёлых металлов в экстрактах волос спектрофотометрическим методом»

Автор: Якобсон Павел Павлович

Романов Александр Романович

Руководитель: педагог дополнительного образования

Ширяев Валерий Алексеевич

Гузеева Татьяна Романовна,

студентка второго курса СПБГУВМ

Санкт-Петербург

2022-2023 год

#

#

[Введение:](#_heading=h.cdoupfc305xn) 3

[1. Обзор литературы](#_heading=h.f2hjcmwavouj) 4

[2.Материалы и методы:](#_heading=h.xviyn5welstw) 7

[2.1 Метод определения меди (II) при помощи диэтдитиокарбамата натрия](#_heading=h.q5qe4fixwkhn) 7

[2.2 Метод определения железа (III) в волосах с использованием роданистого калия:](#_heading=h.qcm9711errud) 8

[2.3 Определение ионов свинца (II) при помощи сульфарсазена:](#_heading=h.kv0b59h73wsq) 8

3. [Заключение](#_heading=h.l2zi2jql24eh) 12

[Список литературы](#_heading=h.m0b0x56de5lr) 13

[Приложение 1](#_heading=h.9zryxk4ntomz) 14

[Приложение 2](#_heading=h.df02b0roim04) 14

[Приложение](#_heading=h.9zryxk4ntomz) 3 15

[Приложение](#_heading=h.9zryxk4ntomz) 4 15

#

# Введение

В современной науке анализ различных биосубстратов является важной составляющей для проведения исследований во многих областях познания. В сфере экологии данный метод находит широкое применение при мониторинге состояния окружающей среды и её компонентов, клиническая и судебная медицина используют его при выявлении патологий, установлении причины смерти. Наиболее распространёнными биосубстратами, которые подвергаются медицинским исследованиям для определения нарушений различных систем органов организма человека, являются кровь, урина и кал. В последние годы благодаря частным клиникам и методу доктора А. В. Скального активно распространяется использование волос как субстрата, служащего для проведения микроэлементного анализа, который позволяет специалистам в сфере здравоохранения сделать выводы о избытке или недостатке определённых веществ в организме и наличии у пациента связанных с ними заболеваний.

Основными преимуществами волос перед другими исследуемыми материалами являются безболезненность взятия образца, что уменьшает дискомфорт во время сдачи анализа, и его доступность. Другой важной характеристикой данного биосубстрата выступает способность накапливать и долгое время сохранять в своей структуре химические соединения в отличие от крови, кала и урины, анализируемые вещества в которых можно обнаружить на протяжении нескольких часов или суток. Вследствие этого волосы являются минеральным паспортом организма человека, который позволяет проследить аккумуляцию элементов в течение длительного периода. Данное свойство активно используется в медицинской криминалистике для установления факта употребления человеком психотропных и наркотических веществ, в частности кокаина и фенциклидина. Несмотря на упомянутые преимущества, исследования, связанные с установлением микроэлементного состава волос, проводятся с использованием дорогостоящего оборудования и сложных в осуществлении методов (атомно-абсорбционная спектрометрия, вольтамперометрия, газовая хроматография). Альтернативным способом определения содержания анализируемых элементов в различных биосубстратах является спектрофотометрия, отличающаяся доступностью и относительной простотой. Таким образом, нашу исследовательскую группу заинтересовала возможность применения данного метода для осуществления микроэлементного состава волос и определения патологий животных на его основе.

Проблема проекта: сложность методов анализа волос на микроэлементный состав и недоступность для большинства лабораторий оборудования, которое используется при проведении данного исследования. Актуальность проекта: широкое применение спектрофотометрии в качестве основного способа определения микроэлементов в волосах позволит осуществлять данный анализ широкому кругу медицинских центров и лабораторий, устанавливать диагнозы животных с использованием полученных данных, что позволит эффективнее осуществлять собственную деятельность сотрудникам в области ветеринарии. Цель проекта: доказать возможность использования спектрофотометрии при определении микроэлементного состава волос у животных.

# 1. Обзор литературы

Существуют несколько методов количественного определения ионов микроэлементов в волосах, основные из них:

* Атомно-абсорбционная спектрометрия - техника определения концентрации элемента в испытуемом образце путем измерения поглощения электромагнитного излучения атомным паром элемента испытуемого образца. У данного метода существуют такие плюсы: значительная чувствительность, лояльные требования к условиям атомизации, высокая селективность - исключает влияние на результаты анализов, наложение иных атомов из образца; и минусы: трудность осуществления многоэлементного анализа, так как для каждого элемента нужен был свой источник излучения, большая стоимость требуемого оборудования. Этот метод использовался в работах: Дребенкова И. В., Зайцев В. А., Романюк А. Г. Исследование микроэлементов в волосах школьников атомно-эмиссионным методом. – 2015; Кускова И. С. Оптимизация условий проведения элементного анализа биологических объектов методами дуговой и пламенной атомно-эмиссионной спектрометрии – 2017; Илларионова Е. А., Сыроватский И. П. Химико-токсикологический анализ тяжелых металлов. – 2016.
* Вольтамперометрия - группа электрохимических методов анализа, в которых контролируемый параметр – потенциал индикаторного электрода – меняется во времени, а измеряемой величиной является ток, протекающий через индикаторный электрод. Эти методы анализа основаны на расшифровке поляризационных кривых (вольтамперограмм), полученных в электролитической ячейке с поляризующимся индикаторным электродом и неполяризующимся электродом сравнения. Вольтамперограмма позволяет одновременно получить качественную и количественную информацию о веществах, восстанавливающихся или окисляющихся на микроэлектроде (деполяризаторе), а также о характере электродного процесса.У данного метода существуют такие плюсы: высокая чувствительность, экспрессность; возможность анализа смесей веществ без их предварительного разделения; достаточно высокая воспроизводимость (до 1-2 %); возможность проводить анализ в темно окрашенных и мутных средах; объем анализируемого раствора может быть очень небольшим ; и минусы: требование сильно специфичного оборудования, требование некоторых допущений для расчёта. Этот метод использовался в работе: Планкина М. В, Скороходова О. Н., Фурс М. Б. Научно-исследовательская работа: «Волосы – показатель содержания микроэлементов в организме»//Наука и жизнь - Новое поколение - 2010.
* Газовая хроматография - физико-химический метод разделения веществ, основанный на распределении компонентов анализируемой смеси между двумя несмешивающимися и движущимися относительно друг друга фазами, где в качестве подвижной фазы выступает газ (газ-носитель), а в качестве неподвижной фазы - твердый сорбент или жидкость, нанесенная на инертный твердый носитель или внутренние стенки колонки. У данного метода существуют такие плюсы: универсальность; определение состава сложных смесей, в том числе с количеством компонентов более 100; быстрота; высокая чувствительность и способность преобразования хроматографических данных в электрические или пневматические сигналы, необходимые для систем автоматического контроля и регулирования технологических процессов ; и минусы: недостаточную геометрическую однородность поверхности адсорбентов, недостаточное постоянство химического состава поверхности адсорбентов из-за наличия примесей, повышенную адсорбционную активность адсорбентов, повышенную каталитическую активность адсорбентов, нелинейность изотермы адсорбции, недостаточно широкий выбор адсорбентов. Этот метод использовался в работе: Онищенко Г. Г., Зайцева Н. В., Уланова Т. С. Контроль содержания химических соединений и элементов в биологических средах. – 2011; Илларионова Е. А., Сыроватский И. П. Химико-токсикологический анализ тяжелых металлов. – 2016; Матвейко Н. П., Протасов С. К., Садовский В. В. Определение тяжелых металлов в волосах человека //Вестник Витебского государственного технологического университета.–2013.
* Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой метод масс-спектрометрии, который использует индуктивно связанную плазму для ионизации образца. Он распыляет образец и создает атомарные и малые многоатомные ионы, которые затем детектируются.У данного метода существуют такие плюсы: низкие пределы обнаружения 10-7 – 10-2 г/л, высокая сходимость результатов, возможность многоэлементного анализа (~70 элементов) в большом интервале определяемых концентраций 10-7 – 10-2 г/л, возможность анализа водных и органических растворов; и минусы: анализ осложняется спектральными помехами, большое влияние матричных эффектов, дорогостоящая аппаратура, невозможность определения Bi, необходимость участия в работе высококлассных специалистов. Этот метод используется в работе: Уланова Т. С. и др. Методические и практические аспекты определения общей ртути в образцах цельной крови, мочи и волос методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой //Анализ риска здоровью. – 2018..
* Методики для спектрофотометрического анализа, которые мы использовали в нашем исследовании были взяты из книги «Методы исследования качества воды водоёмов» Ю.В. Новикова, К.О. Ласточкиной и З.И. Болдина, т.к. требуемые для указанного анализа реактивы были у нас в наличии, а также потому, что мы находим ионы тяжёлых металлов переводом в нитраты, а обнаружение нитратов металлов есть в этой книге и широко используется для качественного анализа водоёмов и для экомониторинга.

# 2. Материалы и методы

Для анализа были выбраны ионы трёх тяжёлых металлов: Fe(III), Pb (II) Cu(II), т.к. они являются одними из самых важных и часто встречающихся в организме. Были взяты волосы с двух модельных объектов: собаки и человека. Людские волосы использовали для определения железа. Экстракт волос получали при помощи ультразвука, т.к. благодаря кавитации (образование и активность газовых или паровых пузырьков (полостей) в среде, облучаемой ультразвуком, а также эффекты, возникающие при их взаимодействии со средой и с акустическим полем) выделение ионов металлов из волос возрастает из-за особенностей механизма самой кавитации – образуются пузырьки в жидкости, которые при лопании частично разрушают структуру волоса.

При определении ионов Fe (III) наша исследовательская группа разработала следующую методику: с затылочной части головы необходимо срезать 0,5 г волос и измельчить их с использованием ножниц. Добавить в термостойкий стакан с исходной пробой 9 мл воды, 1 мл азотной кислоты (63%). Затем следует провести экстракцию ультразвуком в течение 15 минут при мощности ультразвуковой ванны 100%. В полученный фильтрат добавляют 40 мл воды, 0,2 мл соляной кислоты (37%) и 0.86 г окрашивающего агента - калия роданистого. Полученный раствор с розовой окраской заливают в кюветы (длина оптического слоя 10 мм) и анализируют с использованием фотометра при длине волны 500 нм. Содержание ионов Fe (III) в исходном экстракте определяется с использованием калибровочного графика по закону Бургера-Ламберта-Бера. Калибровочный график строится на основе растворов железоаммонийных квасцов с различной концентрацией, выступающих в качестве источника ионов Fe (III). Общую схему метода см. в приложении 1 и 4.

## 2.1 Метод определения меди (II) при помощи диэтдитиокарбамата натрия

Метод основан на взаимодействии ионов меди (II) с диэтдитиокарбамата натрия в слабоаммиачном растворе с образованием диэтдитиокарбамата меди жёлто-коричневого цвета. Для устранения мешающего влияния железа и жёсткости воды добавляем раствор тартрата калия-натрия (сегнетова соль). Предел обнаружения 0,02 мг/л. Диапазон измеряемых количеств меди в пробе 1-30 мкг. При цветности воды более 20° пробу обесцвечивают персульфатом аммония. Для этого к 50 мл исследуемой пробы добавляют 2,5 мл 5% персульфата аммония и 20 мл дистиллированной воды. Пробу кипятят до получения первоначального объёма (50 мл) и далее проводят исследование.

Ход определения:

Отмеривают 50 мл исследуемой воды [если вода не была подкислена при отборе пробы, то ее подкисляют 1—2 каплями хлористоводородной кислоты (1:1)], затем последовательно прибавляют (мл 50% сегнетовой соли, 5 мл аммиака (1:4), 1 мл 0,25% крахмала и 5 мл 01% диэтилдитиокарбамата натрия. После добавления каждого реактива растворы перемешивают. Измеряют оптическую плотность в кюветах с толщиной оптического слоя 5 см при синем светофильтре (430 нм) по отношению к дистиллированной воде, проведенной через весь анализ. Содержание меди (мкг) находят по калибровочному графику или визуально по интенсивности окраски пробы и шкалы стандартных растворов.

Калибровочный график.

Отбирают 0—1—2—5—10 30 мл рабочего стандартного раствора, что соответствует содержанию меди 0—1—25—10—20—30 мкг, разбавляют дистиллированной водой и обрабатывают так же, как и пробу. Окраска устойчива в течении 1ч. Калибровочный график строят в координатах оптическая плотность – содержание меди (мкг). Концентрацию меди рассчитывают по формуле:

X = A/v,

где Ф –содержание меди, найденное по калибровочному графику или по шкале стандартных растворов, мкг, v – объем пробы взятой для анализа воды, мл.

## 2.2 Метод определения железа (III) в волосах с использованием роданистого калия:

Ход определения:

1)Берутся с затылка, ближе к шее, 0,5 г волос. Измельчаются ножницами, добавляем к 0,5 г волос 9 мл дистиллированной воды и 1 мл HNO3 (конц.)

2) Производится экстракция ультразвуком 15 мин при мощности 100%

3)Фильтрование с помощью бумаги полученного раствора, к полученному фильтрату добавили 40 мл дистиллированной воды

4) К полученному раствору добавляем 0,2 мл HCl (конц.) и 0.86 г KSCN

5)Контрольный раствор готовим по той же методике: 49 мл дистиллированной воды, 1 мл HNO3 (конц.), 0,2 мл HCl (конц.) и 0.86 г KSCN)

6)Оптическая плотность исходного раствора D=0.051 при длине волны 500 нм

## 2.3 Определение ионов свинца (II) при помощи сульфарсазена:

Принцип метода:

Метод основан на образовании жёлто-оранжевого соединения свинца с сульфарсазеном (плюмбон) при рН 7-7,3. Свинец предварительно экстрагируют дитизоном в тертрохлориде углевода при рН 9,2-9,6. Образовавшийся дитизонат свинца разрушают хлороводородистой кислотой, при этом ионы свинца переходят в водный раствор, в котором определяют свинец. Предел обнаружения 0,005 мг/л. Диапазон измеряемых количеств свинца в пробе 0,5- 5 мкг. Произведению анализа мешают марганец, цинк, никель, железо, кадмий, медь, кобальт и молибден.

Для устранения мешающего влияния была введена предварительно экстракция свинца дитизином в присутствии хлоридагидроксиламина. Реэкстракция свинца 0,05 н. хлороводоротистой кислотой устраняет влияние меди, кадмия, кобальта и никеля, а комплексообразование цинка с гексацианоферратом (II) калия – влияние цинка. Для предупреждения выпадения гидроксидов металлов прибавляют тартрат калия-натрия. Влияние сильных окислителей, окисляющих дитизон, устраняют восстановлением их гидроксиламином. При большом содержании органических веществ и для разрушения комплексных соединений свинца пробу минерализуют.

Ход определения:

Определение свинца при содержании в воде цинка менее 0,5 мг/л. Помещают 100 мл исследуемой жидкости в делительную воронку вместимостью 150-200 мл, добавляют 1 мл 20% хлорида гидроксиламина, 1 мл 33% тартрата калия-натрия (при больших концентрациях кальция и магния количество тартрата калия-натрия увеличивают до 5 мл) и 5 мл 33% цитрата натрия. Содержимое воронки перемешивают, добавляют 2-3 капли 0,1% фенолового красного и по каплям очищенный аммиак до перехода окраски из жёлтой в розовую, затем ещё 2 капли аммиака. Из бюретки наливают 1-2 мл 0,01% дитизона в тертрахлориде углерода. Энергично встряхивают 2 мин. При этом окраска меняется с зелёной на красную. После разделения жидкостей нижний окрашенный слой, содержит дитизонаты свинца и других металлов (меди, марганца, никеля остатки цинка и др.), сливают в пробирку с притёртой пробкой. К водному раствору, оставшемуся в делительной воронке, добавляют еще 1—2 мл 0.01% дитизона, снова встряхивают 2 мин и после разделения слоёв сливают экстракт в ту же пробирку. Операцию повторяют, пока дитизон не перестанет менять окраску. Необходимо следить, чтобы с экстрактом дитизоната свинца не был спущен водный раствор. Если немного водного раствора попадает в пробирку, то его надо осторожно удалить фильтровальной бумагой, не затрагивая слоя органического растворителя.

Экстракт дитизоната свинца переносят из пробирки в делительную воронку вместимостью 50 мл. Вносят 3 мл 0,05 н.хлористоводородной кислоты и энергично встряхивают 2 мин. При этом свинец переходит в водную фазу. После разделения жидкостей нижний слой сливают из делительной воронки в ту же пробирку, а кислый раствор свинца — В другую пробирку с оттянутым дном для удаления мелких капелек дитизона. Органическую фазу, содержащую дитизонат свинца, вновь помещают в делительную воронку и прибавляют 3 мл 0,05 хлористоводородной кислоты. Энергично встряхивают 2 минуты. После разделения жидкостей нижний слой сливают в стеклянку для отходов, а кислый раствор свинца добавляют к первому раствору. Объединённому раствору в пробирке дают настояться 10 минут, встряхивая время от времени для более быстрого осаждения капелек дитизола в тертахлориде углерода на дне пробирки. Затем пипеткой с резиновой грушей отбирают 5 мл раствора и помещают в пробирку вместимостью 15 для колометрировкния, вводят 0,2 свежеприиготовленного 1% гексацианоферрата (II) калия 4,5 мл 0,05 М тетрабората натрия, 0,5 мл 0,05% плюмбона, вновь тщательно перемешивают содержимое пробирки и оставляют на 30 минут для развития окраски. Фотометрируют при зелёном светофильтре (λ 515 нм) в кюветах с толщиной оптического слоя 2 см по отношению к 5 мл 0,05 н. хлористоводородной кислоты, к которой прибавлено 0,2 мл 1% гексацианоферрата калия (II), 4,5 мл 0,05 М тетрабората натрия, 0,5 мл 0,05% плюмбона. Содержание свинца (мкг) находят по калибровочному графику или визуально по интенсивности окрашивания пробы и шкалы стандартных растворов при просматривании пробирок сверху вниз на белом фоне.

Определение свинца при содержании в воде цинка более 0,5 мг/л. Свинец предварительно осаждают с карбонатом кальция, при этом цинк остаётся в растворе. Для этого 1000 мл подкисленной исследуемой воды помещают в колбу, вводят 3 мл 10% гексацианоферрата (II) калия, дают постоять 10 мин; нейтрализуют 25% гидроксидом натрия по бумаге конго до перехода фиолетового цвета в красный и хорошо перемешивают воду после каждого добавления щелочи. В нейтрализованную воду добавляют 10 мл 1 н. карбоната натрия и перемешивают, затем 10 мл 1 н. хлорида кальция, еще раз перемешивают и оставляют стоять 12-18 часов. Иногда осадок карбоната кальция выпадает не сразу. Если осадок не выпадет в течение 30 мин, то следует внести ещё 10 мл карбоната натрия, перемешать и оставить на 12-18 ч. После отстаивания осадок карбоната кальция обычно плотно пристает ко дну и стенкам сосуда.

На следующий день после осаждения надосадочную жидкость сливают при помощи сифона, следя за тем, чтобы не взмутить осадка. Если осадок неплотно пристал к стенкам и раствор нельзя удалить целиком, то его остаток отфильтровывают через фильтр «белая лента». Фильтры готовят заранее. Для этого обрабатывают пачку фильтров диаметром 5—7 см 2 н. хлористоводородной кислотой, затем тщательно промывают дистиллированной водой и сушат. Осадок карбонатов растворяют на фильтре в 10 мл 2 н хлористоводородной кислоты. На этом этапе вода частично освобождается от цинка. Кислый раствор из колбы переносят в делительную воронку, тщательно смывая очищенной, дистиллированной ‚ водой содержимое колбы и фильтр, добавляют 1 мл 20% хлорида гидроксиламина, 1 мл 33% тартрата калия-натрия и 5 мл 33% цитрата натрия. Содержимое воронки перемешивают, добавляют 2-3 капли 0,1% фенолового красного и по каплям очищенный аммиак. Далее анализ проводят как описано выше.

Калибровочный график:

В делительные воронки наливают 50 мл бидистиллированной воды, добавляют 0-0,5-1-2-3-4-5 мл рабочего стандартного раствора, что соответствует содержанию свинца 0-0,5-1-2-3-4-5 мкг. Подкисляют каждый раствор 1 каплей хлористоводородной кислоты (1:1) и далее ведут определение, как при исследовании пробы, начиная с добавлением реактивов перед экстракцией дитизоном. Шкала стандартных растворов устойчива в течении 1 сут. Фотометрируют и строят калибровочный график в координатах оптическая плотность - содержание свинца (мкг).

Ход работы:

Для начала было решено проверить методику обнаружения ионов Fe3+ в волосах, т.к. повышенное содержание железа может указывать на. Для этого необходимо приготовить раствор FeCl3 c концентрацией 50 мг/50 мл, то есть 1 мг/мл. Необходимая масса FeCl3\*6H2O для приготовления раствора - 83.33 мг (M (FeCl3)/M (FeCl3\*6H2O) =0,6, делим на данное значение 50 мг чистого FeCl3, чтобы получить необходимую массу гидрата), доводим объём раствора до 50 мл дистиллятом.Проводим серию разбавлений, чтобы получить раствор с концентрацией FeCl3 0.001 мг/мл. Далее, используя полученный раствор, готовим такую же пробу, как и с волосами. Оптическая плотность полученного раствора D=0.106. При растворе с концентрацией FeCl3 равной 0.01 мг/мл оптическая плотность равна D=2.153. В первой версии использовались волосы человека, далее - собаки. Были взяты 3 концентрации Fe3+: 0,0002, 0,0005, 0,0007; до этого были сделаны примерные измерения с концентрацией 0,01 и 0,001, их результаты описаны выше. На основании данных, полученных в ходе второго опыта был построен калибровочный график (см. приложение 2)

#

**3. Заключение**

Гипотеза была подтверждена, ионы тяжёлых металлов можно определить спектрофотометрическим методом из экстракта волос, что ранее не применялось в анализах с данной целью. На основании полученных результатов были построены калибровочные графики на ионы Fe (III) и Cu (II), с помощью которых можно определить содержание данных элементов в организме; разработана и проверена методика определения содержания ионов Fe (III) и Cu (II) в экстрактах волос. Далее планируется узнать содержание ионов таких тяжёлых металлов, как Pb, Zn и неметалла Se, так как данные микроэлементы тоже могут быть индикаторами различных заболеваний. Недостаток меди в организме может вызывать рак, болезни сердца, ожирение, сахарный диабет и инфаркт миокарда; с другой стороны избыток данного микроэлемента может сопровождаться ухудшением памяти, бессонницей, нервозным состоянием, раздражением слизистых и конъюнктивитом, головной и мышечной болью. Избыточное содержание свинца вызывает неврологические повреждения, особенно у детей, снижение синтеза витамина D и гемоглобина, а также анемию, острые заболевания центральной нервной системы. Недостаток селена приводит к патологиям печени, поражению миокарда, атеросклерозу сосудов, нарушению выработки гормонов, умственного развития и роста костей, снижению иммунитета и репродуктивной функции, старению органов (ранний климакс, катаракта), развитию онкозаболеваний. В свою очередь, нехватка цинка является причиной первичной остеосаркомы костей, анемии, заболевания сосудов, ишемической болезни сердца, артериосклероза.

Таким образом, в дальнейшем наша исследовательская группа планирует развивать спектрофотометрический метод для определения других микроэлементов в организме человека и животных, что поможет легче диагностировать патологии, связанные с недостатком или избытком исследуемого элемента, эффективнее осуществлять собственную деятельность сотрудникам в области здравоохранения и ветеринарии. Другой важной целью является широкое распространение данного анализа среди частных и государственных клиник, который сможет проводить большое количество лабораторий по причине относительной простоты методики и доступности необходимого оборудования.

# Список литературы

1) Бревнова Г.С., Сибиркина А.Р. Краткий очерк о влиянии тяжелых металлов на организм человека и описание методов и методик определения содержания тяжелых металлов в волосах людей// Научный альманах -2017- №4-3-(30)

2) Дребенкова И. В., Зайцев В. А., Романюк А. Г. Исследование микроэлементов в волосах школьников атомно-эмиссионным методом. – 2015.

3) Илларионова Е. А., Сыроватский И. П. Химико-токсикологический анализ тяжелых металлов. – 2016.

4) Казимов М. А., Алиева Н. В. Изучение и гигиеническая оценка риска для здоровья от присутствия тяжёлых металлов в продуктах питания //Казанский медицинский журнал. – 2014. – Т. 95. – №. 5. – С. 706-709.
5 )Климов И. А., Трифонова Т. А. Изучение накопления тяжелых металлов в волосах детей //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №. 5-2. – С. 366-368.

6) Кускова И. С. Оптимизация условий проведения элементного анализа биологических объектов методами дуговой и пламенной атомно-эмиссионной спектрометрии: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук: спец. 02.00. 02 : дис. – 2017.

7) Харламов А. В. и др. Информативность биосубстратов при оценке элементного статуса сельскохозяйственных животных (обзор) //Животноводство и кормопроизводство. – 2014. – №. 4 (87). – С. 53-58.

8) Уланова Т. С. и др. Методические и практические аспекты определения общей ртути в образцах цельной крови, мочи и волос методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой //Анализ риска здоровью. – 2018. – №. 2. – С. 119-128.

9) Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.И. Болдин, «Методы исследования качества воды водоёмов», 1981

# Приложение 1. Методика определения оптической плотности раствора, содержащего ионы Fe (III)



# Приложение 2. Калибровочный график для ионов Fe (III)

#

#

#

#

#

#

#

#

#

#

# Приложение 3. Калибровочный график для ионов Cu (II)



**Приложение 4. Процесс растворения железоаммонийных квасцов для создания калибровочного графика**

****