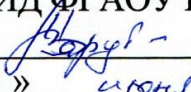


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт естественных и точных наук
Факультет «Химический»
Кафедра «Экология и химической технологии»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

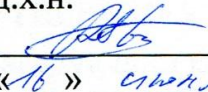
Рецензент, с.н.с., д.х.н., профессор
УНИД ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»


В.В. Шарутин
«16» июня 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,


д.х.н.


В.В. Авдин
«16» июня 2017 г.

Исследование физико-химического состава донных отложений р. Сак-Элга

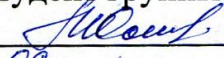
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 18.04.02.2017.779.ПЗ ВКР

Руководитель работы, д.х.н.


В.В. Авдин
«06» июня 2017 г.

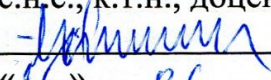
Автор работы,

студент группы ЕТ-244


М.А. Осипова
«06» июня 2017 г.

Нормоконтролер,

с.н.с., к.т.н., доцент


В.Р. Гофман
«16» юня 2017 г.

Челябинск 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт естественных и точных наук
Факультет «Химический»
Кафедра «Экология и химической технология»
Специальность «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, д.х.н.

 В.В. Авдин

«16» ~~11/04/17~~ 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Осиповой Марии Андреевны

Группа ЕТ-244

1 Тема работы

Исследование физико-химического состава донных отложений р. Сак-Элга
утверждена приказом по университету от «23» апреля 2017 г. № 835

2 Срок сдачи студентом законченной работы «25» мая 2017 года

3 Исходные данные к работе

Материалы учебной и производственной практики, экспедиционный
материал, литературные источники по проблеме исследования

4 Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке
вопросов)

Основные физико-химические свойства донных отложений

Формирование донных отложений в водных объектах

Методики проведения исследований

Элементный и дисперсный состав донных отложений

Процесс осаждения взвешенных частиц

Определение степени выщелачивания тяжелых металлов из донных
отложений

5 Перечень графического материала

Презентация выпускного квалификационной работы содержит 13 слайдов, выполненных в программе PowerPoint 2013. Всего 13 листов.

6. Дата выдачи задания 28 декабря 2015 г.

Руководитель _____  В.В. Авдин

Задание принял к исполнению _____  М.А. Осипова

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Пробоотбор образцов	23.06.2016	
Выполнение аналитических и экспериментальных исследований	05.12.2016	
Анализ литературных данных и составление литературного обзора по данной проблеме	27.02.2017	
Обработка результатов исследований	04.04.2017	
Оформление пояснительной записки	25.05.2017	
Получение рецензии, отзыва, подготовка доклада	09.06.2017	

Заведующий кафедрой _____  /В.В. Авдин/

Руководитель работы _____  /В.В. Авдин/

Студент-дипломник _____  /М.А. Осипова/

РЕФЕРАТ

Осипова М.А. Исследование физико-химического состава донных отложений р. Сак - Элга. – Челябинск: ЮУрГУ, ЕТ – 244; 2017, 64 с., 2 ил., 14 табл., библиогр. список – 24 наим.

В данной магистерской работе представлены результаты лабораторных исследований физико-химического и элементного состава донных отложений реки Сак-Элга. Представлены результаты лабораторных исследований определения содержания тяжелых металлов в донных отложениях. Проанализирован дисперсный состав донных отложений. Исследованы процессы при отстаивании речной воды – осаждения и выщелачивания, а также доминирование того или иного процесса в зависимости от времени контакта донных отложений с водой.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	7
1.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристики района исследования	7
1.2 Основные физико-химические свойства донных отложений в водных объектах	9
1.3 Особенности формирования донных отложений в водных объектах.....	11
1.4 Особенности осаждение взвешенных частиц в водной среде	14
1.5 Оценка состояния донных отложений	16
2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	19
2.1 Методы отбора проб.....	19
2.1.1 Общие требования к отбору проб поверхностных вод	19
2.1.2 Общие требования к отбору проб донных отложений.....	20
2.2 Оборудование и материалы	22
2.3 Экспериментальные методы.....	23
2.3.1 Методика определения массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия и цинка методом инверсионной вольтамперометрии	23
2.3.2 Методика определения массовой концентрации ионов кобальта и никеля методом инверсионной вольтамперометрии	24
2.3.3 Методика определения массовой концентрации ионов мышьяка методом инверсионной вольтамперометрии.....	24
2.3.4 Методика измерения массовой концентрации неорганических анионов методом капиллярного электрофореза.....	25
2.3.5 Методика определения массовой концентрации общего железа (II) и (III) фотометрическим методом.....	26
2.3.6 Методика определения химического потребления кислорода.....	27
2.3.7 Методика определения перманганатной окисляемости.....	28
2.3.8 Методика определения сухого и прокаленного остатка	29
2.3.9 Методика определения содержания взвешенных веществ	31
2.3.10 Методика определения элементного состава методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии.....	32
2.3.11 Методика выполнения измерений pH в водах потенциметрическим методом.....	34
2.3.12. Методика определения гранулометрического состава.....	35
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	37
3.1 Расположение пунктов наблюдений на исследуемых водных объектах.....	37
3.2 Результаты физико-химического и элементного анализа проб воды и донных отложений.....	39
3.3 Экспериментальные исследования по выщелачиванию донных отложений	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	62

ВВЕДЕНИЕ

Характер водопользования водных объектов на различные нужды определяется качеством воды водоёма. Длительное использование воды поверхностных водоёмов приводит к изменению их качественных характеристик в результате сброса вод различного происхождения и состава, что нарушает естественные водные экосистемы.

Актуальность данного исследования заключается в том, что в воде р. Сак-Элга и донных отложениях содержится большое количество загрязняющих веществ. Планируется строительство дамбы с организацией водохранилища. Необходимо определить какие процессы будут преобладать в системе «донные отложения – вода» и оценить их влияние на концентрацию загрязнений в воде.

В связи с этим целью данной магистерской работы является определение физико-химического поведения донных отложений реки Сак-Элга в водных средах.

Для достижения данной цели были сформулированы следующие задачи:

1) Проведение аналитических лабораторных исследований проб воды и донных отложений, отобранных в соответствии с установленной сетью пунктов наблюдений в периоды снегового покрова и половодья;

2) Выполнение физико-химического и элементного анализа донных отложений и проб воды;

3) Изучение процесса выщелачивания тяжелых металлов из донных отложений реки Сак-Элга и процесса осаждения взвешенных веществ в пробах воды путем проведения экспериментальных исследований.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристики района исследования

Речная сеть района принадлежит бассейну Карского моря (река Тобол). Густота речной сети в пределах горного Урала уменьшается с запада на восток и зависит от условий увлажнения территории, а также от водопроницаемости пород, которыми сложен водосбор. Реки восточного склона текут в основном в широтном направлении, и имеют широкие долины с низкими, часто заболоченными берегами. В типе руслового процесса преобладает ограниченное меандрирование. Все реки относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенней меженью, прерываемой дождевыми паводками и устойчивой длительной зимней меженью. В питании рек преимущественное значение имеют снеговые воды, их доля в суммарном стоке составляет 65...70%. Соотношение между поверхностной и подземной составляющей находится весной в соотношении 90% к 10%, в период летне-осенней межени 50% на 50%, а зимой 100% приходится на подземную составляющую. Весеннее половодье обычно начинается во второй декаде апреля и продолжается 25...30 суток. При этом подъем уровней на малых водотоках не превышает, как правило, одного метра, при интенсивности 10...15 см в сутки. В период летне-осенней межени в среднем наблюдается от 1 до 3 дождевых паводков. В дождливые годы их количество может достигать до 46. Частое явление для рассматриваемой территории – ливни. В большинстве случаев слой осадков за ливень не превышает 10 мм, ливней со слоем осадков более 10 мм за сезон наблюдается от 4 до 7. Ливни со слоем осадков менее 10 мм бывают, как правило, кратковременными, а со слоем более 10 мм продолжаются обычно в течение 3 – 9 часов. Интенсивность дождя может достигать 5...7 мм/мин и более, но повторяемость таких ливней не превышает 3 %. В 40...60 % случаев интенсивность дождей около 0,4 мм/мин.

Распределение речного стока внутри года является относительно равномерным, хотя условия его формирования здесь не очень благоприятны, коэффициент стока не превышает 0,30.

Река Сак-Элга находится в западной части Челябинской области и является левобережным притоком реки Миасс. Река Сак-Элга берёт начало из ключей в восточных отрогах хребта Юрма, не имеет крупных притоков. Общая длина реки 19 км, площадь водосбора 135 км². Бассейн р. Сак-Элга лежит в горной местности с сильно рассечённым рельефом. На протяжении первых 4...5 км река протекает в узкой долине. На этом участке русло галечное, шириной от 2 до 3 метров при глубине 0,2...0,3 метров. Ниже речная долина сильно расширяется, и река течет, меандрируя, по заболоченной луговой террасе, возвышающейся над меженным горизонтом воды на 1,0...1,2 метра. На 13-ом км от истока расположена плотина Богородского пруда. На своем пути река Сак-Элга принимает в себя большое количество мелких и средних ручьев. Самым крупным притоком является река Серебрянка, впадающая с левого берега в Богородский пруд. На реке Серебрянка в среднем ее течении расположен пруд, организованный для водоснабжения города.

В реку Сак-Элга осуществляется сброс сточных вод промышленных предприятий и хозяйственно-бытовых сточных вод города. Река испытывает значительную антропогенную нагрузку.

В районе автодорожного моста в реку Сак-Элга впадает ручей. До смешения воды реки Сак-Элга с ручьем воды реки Сак-Элга визуально чистые, без взвесей; ручья – грязные, жёлто-коричневого цвета, взвесь крупная, не хлопьевидная. После смешения вод рек вода имеет осадок хлопьевидный, коричневого цвета. Справа от реки на расстоянии 30 метров расположен лес, слева, на расстоянии 60 метров, параллельно находится автомобильная дорога.

Далее река поворачивает влево, проходит под автодорогой и течёт по полю. В паводок по этой территории течёт небольшой сток воды в реки Сак-Элга. Водосборная площадь реки Сак-Элга представляет собой обширную зону загрязнения тяжелыми металлами и сульфатами вследствие многолетней добычи на территории города колчеданных руд и их обработки [1].

1.2 Основные физико-химические свойства донных отложений в водных объектах

Основными факторами, оказывающими воздействие на формирование донных отложений водных объектов, являются состав и скорость поступления осадочного материала, величина окислительно-восстановительного потенциала и гидродинамические условия. К основным физическим свойствам, которыми обладают сформировавшиеся донные отложения, относят тип, цвет, запах, консистенцию и наличие включений.

Количество и состав минеральных и органических веществ будут определять цвет донных, который описать полутонами.

Запах определяют органолептическим методом непосредственно после пробоотбора донных отложений, и будет обусловлен составом накопленных веществ и протекающих в донных отложениях процессов.

Консистенцию донных отложений, по большей части, обуславливает наличие воды. По данному физическому свойству донные отложения делятся на жидкие, полужидкие, мягкие, плотные, очень плотные.

Включения в донных отложениях в основном представлены остатками флоры и фауны и грубообломочного материала, регистрация которых происходит визуальным методом.

Установление типа донных отложений по механическому составу происходит визуально по преобладающему размеру фракций, входящих в состав. Установление типа донных отложений по вещественному составу происходит по определению содержания основных компонентов, входящих в состав.

В наблюдениях за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов тип донных отложений устанавливают по их механическому составу.

В перечень определяемых загрязняющих веществ входят соединения тяжелых металлов, обладающие индивидуальной биохимической устойчивостью,

сорбционной и седиментационной способностью, в зависимости от специфики источников загрязнения. Приоритетными компонентами для наблюдений являются ртуть, мышьяк, медь, цинк, кадмий, свинец, хром.

Донные отложения способны аккумулировать и преобразовывать энергию и вещество в водных объектах. От интенсивности протекания процессов сорбции тяжелых металлов на минеральные взвешенных частицах, или уже на существующих сорбентах, входящих в состав донных отложений, и дальнейших процессов седиментации зависит степень аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях. Гумусовые вещества, гидробионты и их жизнедеятельность также активно участвуют в процессах накопления и преобразования веществ, которые содержат тяжелые металлы. При наличии мощных источников антропогенного воздействия в совокупности с естественными процессами, происходящих в водном объекте, возможна его деградация или ухудшение состояния.

Основными факторами, влияющими на степень сорбции веществ, являются структура дна, наличие взвешенных веществ, гидрологический и гидрохимический режимы водного объекта, степень трофности, особенности водосбора и характер поступления сточных вод.

Аккумуляция в донных отложениях веществ наиболее характерна для водных объектов с замедленным стоком, при отсутствии ветрового перемешивания водных масс и циркуляционных течений, а также, содержащих в водной массе своей взвешенные вещества.

Большая часть тяжелых металлов и органических соединений в водных объектах, находятся в сорбированном взвешенными веществами состоянии и подвергается осаждению без значительного изменения состава, накапливаясь в дальнейшем на дне.

Для донных отложений химический состав разнообразен и отличается сложностью и четкостью отражения специфичности источника поступления загрязняющих веществ. В связи с этим, донные отложения используют в качестве

объекта наблюдения при поиске конкретных источников загрязнения с целью предъявления им исков об ущербе водным ресурсам.

Точность сопоставимой информации о физико-химических свойствах донных отложений и сточных, применяют единые методы, отличающихся только способами подготовки проб для анализа. Методы атомно-абсорбционной спектроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа, высокоэффективной жидкостной хроматографии и подобных позволяют получать более достоверную и полную информацию. [2]

1.3 Особенности формирования донных отложений в водных объектах

При разработке природоохранных мероприятий по восстановлению водных объектов необходимы прогнозирование процессов накопления загрязненных донных отложений, данные по загрязненности тяжелыми металлами и токсичными веществами, анализ миграции загрязнителей из донных отложений в водную среду, а также аргументированные основания для удаления загрязненных отложений из речных русел и водоемов.

Для улучшения экологического состояния водных объектов на территориях, подверженных антропогенному влиянию, необходимо удаление донных отложений с предварительным анализом степени их загрязненности, объемов и распределения в водном объекте.

В первую очередь выявляют источники загрязнения водного объекта и оценивают вклад каждого источника на состояние водного объекта и качество воды в целом, необходимых для прогнозирования количества и объема загрязненных донных отложений в водном объекте при планируемой очистке. Также устанавливают характер и степень влияния факторов, определяющих осаждение мелкодисперсных взвесей и последующее формирование слоя загрязненных донных отложений.

Следует отметить, что основной вклад в загрязнение донных отложений в водных объектах на урбанизированных территориях вносят примеси техногенного

и антропогенного происхождения, в том числе труднорастворимые соединения тяжелых металлов. Исследование миграции тяжелых металлов из донных отложений в растения и в водную среду при различных условиях является важной частью для расчета эффективности природоохранных мероприятий по очистке водотоков.

Такие исследования необходимо проводить экспериментально-аналитическим методом с использованием апробированных методик и зависимостей, определяющих поведение мелкодисперсных взвесей в водотоке и описывающих диффузионные массообменные процессы между водной средой и донными отложениями, выполненных на сертифицированном оборудовании.

Качество поверхностных вод прямо связано с степенью загрязненности водотоков. Доминирование процессов заиления рек наблюдается во многих регионах Российской Федерации, в том числе в Уральском регионе, где развито промышленное производство.

Загрязняющие примеси по характеру влияния на качество речных вод подразделяют на два класса, один из которых представлен растворимыми химическими соединениями. Другой представлен нерастворимыми формами веществ, которые присутствуют в воде в виде грубо- и мелкодисперсных взвесей, называемые «мутьевыми загрязнениями».

Основной вклад в загрязнение растворимыми химическими соединениями водных объектов, находящихся под антропогенным влиянием, вносят промышленные и хозяйственные сточные воды, а также дождевые и талые воды. Наибольший вклад в загрязнение нерастворимыми формами веществ вносит поверхностный сток с урбанизированной территории, и лишь малая доля принадлежит отведению условно-чистых сточных вод. По ряду исследований можно утверждать, что основным фактором загрязнения речного русла является мелкодисперсные взвешенные частицы, осаждающиеся в водотоке, с более развитой удельной поверхностью, тем самым адсорбируя большое количество загрязняющих веществ. Поэтому очистка поверхностного стока в комплексе

мероприятий по экологическому восстановлению водных ресурсов, находящихся в пользовании города, является одним из важнейших элементов.

Поступление в водные объекты загрязняющих веществ увеличивается под влиянием техногенного воздействия, что в итоге приводит к их деградации. К наиболее опасным загрязняющим веществам в донных отложениях относят соединения тяжелых металлов с концентрацией, превосходящей уровень фонового загрязнения почв в области водосборной части территории, и многократно превышающую предельно допустимую концентрацию для воды. Аккумуляция определенного количества примесей в донных отложениях увеличивает концентрационный градиент загрязняющих веществ, что приводит к вторичному загрязнению воды, активизируя процесс диффузии поллютантов из донных отложений в водную среду. Гидродинамические характеристики водотока также следует учитывать при планировании реабилитационных мероприятий для водного объекта. Улучшение качества воды можно достигнуть путём очистки русла от загрязнённых донных отложений или мероприятиями, которые будут направлены на уменьшение скорости осаждения взвешенных частиц.

Наиболее интенсивно осаждение взвешенных частиц происходит в зоне с малой глубиной потока и прибрежных зонах. С увеличением скорости течения водотока в зоне глубокого и узкого течения русла, процесс осаждения взвесей заменяется размывом русловых отложений, и как следствие, увеличением концентрации взвешенных частиц. В зоне широкого течения русла происходит осаждение взвесей в следствии уменьшения скорости водотока.

Следует учитывать критерии опасности для донных отложений, разрабатывая восстановительные мероприятия по очистке водного объекта. Обладая информацией о степени выщелачивания загрязняющих веществ из донных отложений в растения и в воду, можно оценить экологическое состояние почвенно-биологических ресурсов.

Информацию об объемах загрязнённых русловых отложениях, об их распределении в русле водотока можно получить расчётным методом, основанного

на использовании среднего показателя объема взвешенных частиц, которые поступают в водоток за один год в пересчёте на одного городского жителя. Таким образом можно оценить нагрузку на урбанизированную территорию, связанную с интенсивностью водопользования и количеством городских хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод.

Вторичное загрязнение водотока речного русла происходит в следствии разрушения загрязняющих веществ в русловых грунтах и к образованию поровых растворов высокой концентрации, диффундирующие в водную среду. Молекулярный характер диффузии объясняет отсутствие ярко выраженной зависимости переноса загрязняющих веществ из донных отложений в воду от крупности частиц. С увеличением скорости течения в водотоке возрастает интенсивность диффузии примесей из речного грунта в водную среду. Данные закономерности могут быть использованы для объективного прогнозирования изменения качества вод рек при организации мероприятий по очистке речного русла. [3]

1.4 Особенности осаждение взвешенных частиц в водной среде

Существует ряд зависимостей, определяющих скорость осаждения и гидродинамическое осаждение несферических взвешенных частиц в водной среде. Взвешенные частицы, транспортируемые водотоком рек, представлены как минеральными, так и органическими. Мутность воды может очень сильно варьироваться. Гранулометрический состав взвесей напрямую связан с минеральным, например, крупные фракции представлены чаще всего кварцем, полевыми шпатами, реже железосодержащими рудами и силикатами, тогда как более мелкие фракции представлены глинистыми минералами. Горные породы, почвенный покров, климат и особенности рельефа бассейна водного объекта также будут влиять на концентрацию химических элементов во взвешенном состоянии.

Существуют две основные формы нахождения элементов в водной среде во взвешенном состоянии, характеризующие их подвижность. К элементам подвижной формы относят оксигидроксиды железа и марганца, легкорастворимые карбонаты и органические вещества, входящие в состав сорбированного комплекса, и при изменении условий способные переходить в растворенное состояние. К элементам неподвижной формы относят элементы, находящиеся в структуре кристаллической решетки минеральных соединений, которые являются более устойчивыми в водной среде. В большинстве своём, во взвешенных частицах речных вод преобладают формы, которые входят в состав оксигидрооксидов железа и марганца, в структуру силикатной кристаллической решетки.

В озерной воде преобладают тонкие глинистые и пылеватые частицы, которые попадают в водоём вместе с поверхностным стоком или поземными водами, ветровым переносом. Большое количество гуминовых веществ в пресных водоёмах связано с обширной жизнедеятельностью гидробионтов. Существует климатическая сезонность для взвешенных веществ в водоёмах, так в не зимние периоды характерно увеличение количества органических соединений, тогда как увеличение количества неорганических частиц характерно для весеннего периода.

Форма и размер осаждаемых частиц, вязкость воды, температурный режим, гидродинамический режим являются основными характеристиками, обуславливающие седиментационный процесс в водном объекте. Взвеси водных объектов представляют собой совокупность частиц различного размера и разнообразной формы.

При исследовании гранулометрического состава донных отложений размер мелкодисперсных взвешенных частиц определяют, как гидравлическую крупность, найденную экспериментальным путем. При осаждении частицы наблюдается увеличение скорости осаждения до установившейся, когда сила гидродинамического сопротивления уравниваются с силой тяжести за вычетом силы Архимеда.

Значение гидродинамического сопротивления для частиц неправильной формы по сравнению с частицами шарообразной формы, имеющих одинаковый объём, определено больше, а для расчётов учитывается геометрический коэффициент формы. [4]

Наиболее существенными факторами, влияющих на изменение мутности воды под влиянием антропогенных факторов при взаимодействии с донными отложениями, являются гранулометрический состав донных отложений, и гидравлическая крупность частиц, скорость течения в водном объекте, а также коэффициенты, которые характеризуют вертикальную и горизонтальную турбулентную диффузию. [5]

1.5 Оценка состояния донных отложений

Практически все тяжелые металлы активно участвуют в биологических процессах. Токсичность тяжелых металлов в водной среде в значительной степени обусловлена их способностью к биоаккумуляции. Ионы тяжелых металлов, как правило, хорошо растворимы в воде и способны образовывать высокотоксичные металлоорганические соединения. Тяжелые металлы могут перемещаться по пищевым цепям, включаясь в метаболический цикл и вызывая различные физиологические и генетические нарушения в гидробионтах. Учитывая высокую токсичность тяжелых металлов в водной среде для оценки состояния донных отложений необходим контроль содержания в водной среде следующих тяжелых. В водохранилищах из-за значительного уменьшения интенсивности водообмена донные отложения сорбируют и накапливают токсические вещества до уровней, многократно превышающих их содержание в водной толще.

В качестве общей оценки химического загрязнения донных отложений используется критерий, основанный на уровне превышения общего содержания загрязняющего вещества в створе наблюдений по сравнению с фоновым. Степень

химического загрязнения донных отложений оценивается с помощью суммарного показателя загрязнения или с помощью индексов геоаккумуляции [5].

Перечень определяемых в донных отложениях загрязняющих веществ включает наиболее распространенные приоритетные, а также специфические для отдельных видов производств загрязняющие вещества, в зависимости от их токсичности, биохимической устойчивости, способности к сорбции на взвешенных веществах с последующим осаждением на дно водного объекта и аккумуляции их донными отложениями и биологической составляющей водного объекта.

Компонентный состав тяжелых металлов устанавливают с учетом специфики источников загрязнения и приоритетными для наблюдений являются ртуть, мышьяк, медь, цинк, кадмий, свинец, хром.

Для донных отложений практически отсутствуют нормативы, регламентирующие содержание даже наиболее распространенных и токсичных загрязняющих веществ, поэтому оценку загрязненности донных отложений проводят одним из рекомендуемых ниже способов.

Первый способ основан на сравнении массовой доли каждого из загрязняющих веществ в пробах донных отложений, отобранных в створах наблюдений и в фоновом створе, при условии идентичности типов донных отложений, в абсолютной форме, либо в относительной форме в виде коэффициентов загрязнения, факторов загрязнения, представляющих отношения обнаруженной концентрации к фоновой. Недостатком метода является практическое отсутствие в настоящее время незагрязненных донных отложений и выбор фонового створа для многих водных объектов является проблематичным.

Второй способ основан на сравнении концентраций определяемых веществ (преимущественно тяжелых металлов), содержащихся в поверхностном слое толщиной в 1 см и фоновых донных отложениях, отобранных в этой же точка до периода их заметного загрязнения на глубине не менее 20 см. Частное от деления этих величин, представляет собой коэффициент загрязнения.

Третий способ основан на сравнении кратности отношения абсолютной массовой доли определяемого вещества к средней характерной массовой доле каждого определяемого вещества для различных типов донных отложений. В зависимости от величины кратности (меньше или больше единицы) можно судить о степени загрязненности донных отложений в исследуемый период времени. Этот способ применим при наличии многолетних наблюдений за состоянием донных отложений в конкретном водном объекте в условиях постоянного антропогенного воздействия.

При оценке загрязненности донных отложений следует учитывать вклад биогенной составляющей для веществ, имеющих смешанное происхождение

Для обеспечения внутреннего контроля качества измерений необходимо проводить контроль загрязнения при отборе проб донных отложений, контроль стабильности градуировочной характеристики используемых методик измерений, контроль одной из характеристик погрешности измерений (погрешности, повторяемости или воспроизводимости).

Контроль загрязнения при отборе проб донных отложений можно организовать при наличии стандартных образцов донных отложений. При этом можно оценить возможное загрязнение пробы из-за неподготовленного оборудования для отбора проб, неправильного хранения и транспортирования проб, неквалифицированной работы оператора. [2]

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Методы отбора проб

2.1.1 Общие требования к отбору проб поверхностных вод

Отбора проб поверхностных вод должен быть происходить в соответствии с целью последующего определения химического состава и физических свойств воды и предусматривать перечень определяемых компонентов, требования к месту отбора проб, периодичность и частоту отбора проб, а также, при необходимости, статистическую обработку данных с целью выявления оптимальных величин периодичности и частоты отбора проб.

Сразу после отбора пробу воды переливают в устройства для хранения проб, которые в зависимости от определяемого показателя должны быть предварительно обработаны соответствующими химическими реактивами, вымыты водой и сполоснуты дистиллированной водой и водой из отбираемой пробы.

Отбирают точечную или объединенную пробу воды. Точечную пробу, характеризующую состав и свойства воды в данном месте водного объекта в данный момент времени, получают путем однократного отбора всего требуемого количества воды. Объединенную пробу воды получают, объединяя серию точечных проб, отобранных по пространственному или временному принципу. Объем точечной или объединенной пробы должен быть достаточным для последующего определения всех запланированных программой показателей химического состава и физических свойств воды.

При невозможности проанализировать отобранную пробу в установленные для соответствующего вида анализа сроки, обеспечивают ее хранение. В этом случае производят консервацию или охлаждение пробы.

Транспортирование проб поверхностных вод осуществляется в таре, обеспечивающей их сохранность [6].

2.1.2 Общие требования к отбору проб донных отложений

Способы отбора проб выбирают в зависимости от целей исследования, типа донных отложений, гидродинамического режима водного объекта, планируемых для определения в донных отложениях загрязняющих веществ и отборов из поверхностного слоя донных отложений или по горизонтам. Пробы отбирают из поверхностного слоя. Отбор проб по горизонтам выполняют при оценке интенсивности хронического загрязнения, определении глубины размывания донных отложений при сгонно-нагонных явлениях, изучении вторичного загрязнения водных масс, исследовании процессов, происходящих внутри водоёма, а также для установления истинных фоновых концентраций исследуемых веществ в донных отложениях, отобранных до периода их заметного загрязнения на глубине более 30 см.

Устройство для отбора проб выбирают в зависимости от целей исследования и мест отбора проб, а также от того, обеспечивает оно отбор проб с нарушением или без нарушения стратификации слоев донных отложений. К устройствам, нарушающим стратификацию донных отложений при отборе проб, относятся дночерпатели типа штанговый ГР-91, ДЧ-0,025 и другие. К устройствам, не нарушающим стратификацию донных отложений при отборе проб, относятся трубки типа ТГ-1 и ТГ-1.5, снабженные специальными вкладышами-клапанами для предотвращения вымывания донных отложений при подъеме трубки, другие пробоотборники открытого гравитационного типа с автоматически закрывающейся диафрагмой.

При определении в донных отложениях неорганических загрязняющих веществ (мышьяк и тяжелые металлы) пробоотборник должен быть сделан из пластика или из нержавеющей стали. Следует избегать применения резины. Если нужного пробоотборника нет, то проба должна быть извлечена из него как можно скорее, при этом часть пробы, находящаяся в непосредственном контакте с пробоотборником, должна быть удалена. Пробоотборник должен быть

предварительно промывает 5 %-ной химически чистой азотной кислотой и ополоснут бидистиллированной водой.

В целях предотвращения перекрестного загрязнения пробы, отобранные для определения в них неорганических веществ, следует на всех этапах исследования полностью изолировать от проб, отобранных для определения органических веществ.

Общим требованиям, предъявляемым к сосудам для хранения проб, предназначенным для анализа органических веществ, больше всего отвечают стеклянные емкости с тефлоновыми крышками. Для хранения проб на тяжелые металлы следует использовать полиэтиленовые емкости. Ёмкости заполняют доверху с минимальным содержанием воды над поверхностью донных отложений. Допустимо использование полиэтиленовых мешков.

Пробы донных отложений, предназначенные для анализа загрязняющих веществ, хранят при температуре не выше 5 °С не более 7 суток. В замороженном состоянии (от минус 15 °С до минус 20 °С) допускается хранение проб в течение 2 месяцев. Перед началом анализа пробы следует разморозить и довести до комнатной температуры. Экстракты из донных отложений хранят только в стеклянных емкостях с притертыми или тефлоновыми пробками в темноте при температуре от 5 °С до плюс 7 °С. Сроки хранения экстрактов, предназначенных для различных загрязняющих веществ, указываются в соответствующих методиках [7].

2.2 Оборудование и материалы

В помещении лаборатории физические параметры воздуха колеблются в следующих пределах: температура – 23-26°C; относительная влажность воздуха – 60-80%. Давление поддерживается на уровне выше атмосферного, чтобы исключить подсос пыли извне.

Калибровка всех используемых приборов произведена в соответствии с требованиями, изложенными в инструкции по эксплуатации и сервисному обслуживанию с использованием стандартных образцов, входящих в комплект поставки.

Рентгенофлуоресцентный анализ золы и твёрдых проб донных отложений выполнен на спектрометре Rigaku Supermini. Производитель: Rigaku Corporation, Япония. Рентгенофлуоресцентный анализ производили в атмосфере гелия, в элементном диапазоне F-U. Полученные значения нормализованы к детектированным элементам. Калибровка волнодисперсного рентгеновского флуоресцентного спектрометра последовательного действия произведена 20 января 2016 года.

Концентрации веществ определяли при помощи вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» с использованием электрохимического датчика «Модуль ЕМ-04» с вращающимся углесталловым дисковым электродом. Для удаления органических веществ применяли фотолизную камеру «ФК-12М». Мешающее влияние ионов устраняли их адсорбцией на концентрирующем патроне «ДИАПАК-ИДК». Калибровка вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» и системы капиллярного электрофореза «Капель» произведена 18 апреля 2016 года.

Реактивы, использованные для проведения анализа, имеют квалификацию не ниже ХЧ, со сроками годности, истекающими не ранее января 2017 года.

2.3 Экспериментальные методы

2.3.1 Методика определения массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия и цинка методом инверсионной вольтамперометрии

Определение массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия и цинка в сточных водах осуществлено методом инверсионной вольтамперометрии. Данный метод основан на электрохимическом накоплении при заданном потенциале поляризации на поверхности рабочего электрода определяемого компонента в индивидуальном виде либо в виде химического соединения с последующей регистрацией величины максимального анодного тока электрорастворения накопленного компонента, имеющего вид пика на вольтамперограмме. Величина пика пропорциональна концентрации определяемого компонента в растворе.

Потенциал пика определяется, в основном, природой реагирующего вещества. Благодаря этому, он может быть критерием для проведения качественного анализа. При наличии в растворе нескольких компонентов с достаточно разнесенными потенциалами пиков вольтамперограмма представляет собой совокупность анодных пиков, которую можно использовать для качественного и количественного анализа.

Настоящая методика (метод) измерений предназначена для выполнения измерений массовых концентраций меди, свинца, кадмия, цинка, методом инверсионной вольтамперометрии.

Мешающее влияние взвешенных частиц удаляют фильтрованием. Органические вещества удаляют фотохимическим окислением проб с использованием фотолизной камеры. Мешающее влияние меди при определении ионов Zn (II) устраняют предварительным удалением ионов Cu (II) из раствора анализируемой пробы, путем их сорбции на концентрирующем патроне [8, 9].

2.3.2 Методика определения массовой концентрации ионов кобальта и никеля методом инверсионной вольтамперометрии

Методика определения массовой концентрации ионов кобальта и никеля в питьевых, минеральных, природных, морских и очищенных сточных водах методом инверсионной вольтамперометрии основана на проведении инверсионного вольтамперометрического измерения ионов никеля, кобальта, по трёх электродной схеме измерения на углеситалловом вращающемся дисковом электроде с использованием вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» в предварительно подготовленных пробах воды.

Определение никеля и кобальта основано на адсорбционном концентрировании диметилглиоксиматных комплексов на поверхности рабочего электрода. Аналитическим сигналом является ток пика катодного восстановления адсорбированных комплексов. Мешающее влияние взвешенных частиц удаляют фильтрованием. Органические вещества удаляют фотохимическим окислением проб с использованием фотолизной камеры «ФК-12М» [8, 9].

2.3.3 Методика определения массовой концентрации ионов мышьяка методом инверсионной вольтамперометрии

Методика определения массовой концентрации ионов мышьяка в питьевых, природных, и сточных водах методом инверсионной вольтамперометрии основана на проведении инверсионного вольтамперометрического измерения ионов мышьяка, по 3-х электродной схеме измерения на золотом вращающемся дисковом электроде с использованием вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» в предварительно подготовленных пробах воды. As^{3+} накапливают в виде As^0 на золотом электроде в течение заданного времени накопления. Аналитический сигнал получают в результате электрохимической реакции $As^0 \rightleftharpoons As^{3+}$ [8, 9].

2.3.4 Методика измерения массовой концентрации неорганических анионов методом капиллярного электрофореза

Метод капиллярного электрофореза для определения массовой концентрации неорганических анионов основан на их миграции и разделении под действием электрического поля вследствие их различной электрофоретической подвижности. Идентификацию и количественное определение анализируемых анионов проводят косвенным методом, регистрируя ультрафиолетовое поглощение на длине волны 254 нм, используя в качестве ведущего электролита хроматный буферный раствор.

Методика измерения массовой концентрации неорганических анионов, таких как: хлорид-, нитрит-, сульфат-, нитрат-, фторид-, фосфат-ионов (в форме растворенных ортофосфатов) в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод реализована методом капиллярного электрофореза. Определения массовой концентрации проводились и использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» с отрицательной полярностью источника высокого напряжения (внутренний диаметр капилляра 75 мкм, полная длина капилляра 60 см, эффективная длина 50 см). Буферный рабочий раствор состава: 7 мМ CrO_3 , 20 мМ ДЭА, 2 мМ ЦТА-Br. Длина волны детектирования 254 нм.

Органические кислоты (муравьиная, уксусная, лимонная), неорганические анионы и нейтральные органические соединения не мешают определению целевых анионов. Растворимые карбонаты при соотношении массовых концентраций 1000:1 не мешают определению фосфатов. Катионы кальция, магния при соотношении массовых концентрации 100:1 также не мешают определению фосфатов. Для устранения мешающего влияния катионов алюминия, железа (III) при определении фосфатов используют трилон Б [10].

2.3.5 Методика определения массовой концентрации общего железа (II) и (III) фотометрическим методом

Методика определения массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах реализована фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Фотометрический метод определения массовой концентрации общего железа основан на образовании сульфосалициловой кислотой или ее натриевой солью с солями железа окрашенных комплексных соединений, причем в слабокислой среде сульфосалициловая кислота реагирует только с солями железа (III) (красное окрашивание), а в слабощелочной среде – с солями железа (II) и (III) (желтое окрашивание).

При определении железа общего, в случае если в предварительной обработке пробы нет необходимости, то к отобранному объему не более 100 см³ добавляют 0,5 см³ концентрированной азотной кислоты и упаривают раствор до 1/3 объема.

Полученный раствор с концентрацией железа от 0,1 до 10,0 мг/дм³ фильтруют через фильтр «белая лента» в мерную колбу вместимостью 100 см³, приливают 2,0 см³ аммония хлористого, 2,0 см³ сульфосалициловой кислоты и 2,0 см³ аммиака, при этом рН раствора должен составлять 7 - 8 (по индикаторной бумаге). Затем доводят до метки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 5 минут до развития окраски. Оптическую плотность полученного раствора измеряют при длине волны $\lambda = 425$ нм в кювете с длиной поглощающего слоя 50 или 10 мм по отношению к холостому раствору, проведенному с дистиллированной водой через весь ход анализа. Далее по градуировочному графику находят содержание железа общего.

Определение железа (III) можно проводить только в тех случаях, когда пробу не обрабатывали с целью разрушения органических компонентов, не кипятили и не консервировали, так как при этом железо (II) окисляется до железа (III).

При определении пробу объемом 80,0 см³ и менее, в зависимости от концентрации, помещают в мерную колбу вместимостью 100 см³, нейтрализуют

раствором аммиака или соляной кислоты до рН 3 - 5 по индикаторной бумаге, прибавляют 2 см³ сульфосалициловой кислоты, доводят до метки дистиллированной водой тщательно перемешивают и оставляют на 5 минут до полного развития окраски.

Оптическую плотность полученного раствора измеряют при длине волны $\lambda = 500$ нм в кювете с длиной поглощающего слоя 10 или 50 мм по отношению к холостому раствору, проведенному с дистиллированной водой через весь ход измерений. Затем по градуировочному графику находят массовую концентрацию железа (III) [11].

2.3.6 Методика определения химического потребления кислорода

Химическое потребление кислорода (ХПК) в пробах воды определяют титриметрическим методом, основанного на окислении органических веществ избытком бихромата калия в растворе серной кислоты при нагревании в присутствии катализатора сульфата серебра. Остаток бихромата калия находят титрованием раствором соли Мора и по разности определяют количество бихромата калия, израсходованного на окисление органических веществ. При необходимости мешающее влияние хлоридов при концентрациях менее 300 мг/дм³ устраняется за счет присутствия в пробе катализатора. При больших содержаниях хлоридов к пробе добавляют сульфат ртути (II) из расчета 100 мг на 10 мг хлоридов.

При определении в колбу со шлифом вносят с помощью пипетки 20 см³ воды или аликвоту, доведенную дистиллированной водой до 20 см³, добавляют 10,0 см³ раствора бихромата калия с концентрацией 0,025 моль/дм³ эквивалента и 30 см³ раствора сульфата серебра в концентрированной серной кислоте. Для равномерного кипения в колбу бросают 2 - 3 капилляра, присоединяют к ней обратный холодильник и кипятят содержимое на песчаной бане в течение 2 часов.

После охлаждения установки промывают холодильник около 50 см³ дистиллированной воды, отсоединяют его, добавляют в колбу, обмывая ее стенки, еще 50 см³ дистиллированной воды, вновь охлаждают, переносят пробу в коническую колбу, дважды споласкивая колбу, где кипятилась проба, дистиллированной водой по 20 - 30 см³. Добавляют 10 капель раствора N-фенилантрахиновой кислоты и титруют избыток непрореагировавшего бихромата калия раствором соли Мора до перехода окраски индикатора из красно-фиолетовой в синевато-зеленую. Аналогичным образом проводят холостой опыт с 20 см³ дистиллированной воды [12].

2.3.7 Методика определения перманганатной окисляемости

Перманганатную окисляемость в пробах воды определили титриметрическим методом, основанным на окислении веществ, присутствующих в пробе воды, известным количеством перманганата калия в сернокислой среде при кипячении в течение 10 минут. Не вошедший в реакцию перманганат калия восстанавливают щавелевой кислотой. Избыток щавелевой кислоты оттитровывают раствором перманганата калия.

При определении перманганатной окисляемости после реакции должно оставаться не менее 40 % введенного перманганата калия, так как степень окисления зависит от его концентрации.

Для получения достоверных и сравнимых между собой результатов необходимо строго придерживаться условий проведения анализа.

В колбу помещали 100 см³ хорошо перемешанной пробы, при необходимости разбавленной дистиллированной водой до 100 см³, несколько капилляров или стеклянных шариков, приливают 5 см³ разбавленной серной кислоты 1:3 и 10 см³ раствора перманганата калия (0,01 моль/дм³ эквивалента). Смесь нагревали так, чтобы она закипела не позднее чем через 5 минут, и кипятят 10 ± 2 минуты, закрыв маленькой конической воронкой для уменьшения испарения. Если в

процессе кипячения содержимое колбы потеряет розовую окраску или побуреет, то определение надо повторить, разбавив исследуемую воду. Затем к горячему раствору прибавляли 10 см³ раствора щавелевой кислоты (0,01 моль/дм³ эквивалента). Обесцвеченную горячую смесь титровали раствором перманганата калия (0,01 моль/дм³ эквивалента) до слабо-розового окрашивания. Если при титровании пробы расходуется перманганата калия более 60 % от добавленного количества, т.е. если при обратном титровании израсходовано более 7 см³ раствора титранта, то пробу разбавляют и повторяют определение.

Если при анализе предварительно разбавленной пробы на титрование расходуется менее 2 см³ раствора перманганата калия, то определение повторяют с менее разбавленной или неразбавленной пробой.

Одновременно проводят холостой опыт со 100 см³ дистиллированной воды и обрабатывают ее так же, как анализируемую воду. Расход раствора перманганата калия при холостом определении не должен превышать 0,5 см³. В противном случае проводят дополнительную очистку используемой дистиллированной воды и посуды [13].

2.3.8 Методика определения сухого и прокаленного остатка

Массовую концентрацию сухого и прокаленного остатка в пробах воды измеряли гравиметрическим методом определения прокаленного остатка, основанного на выпаривании аликвотной части профильтрованной анализируемой пробы воды, прокаливании полученного остатка при температуре 600 ± 20 °С и его взвешивании.

Для определения берут от 25 до 1000 см³ анализируемой пробы воды в зависимости от предполагаемой массовой концентрации сухого или прокаленного остатка. Объем выбирают таким образом, чтобы масса привеса чашки после выпаривания и высушивания составила более 0,0010 грамм.

Аликвотную часть пробы воды, предварительно профильтрованную через фильтр «синяя лента» и отобранную мензуркой или цилиндром, помещают в фарфоровую чашку, и выпаривают на водяной бане досуха. Выпаривание на водяной бане проб воды проводят в вытяжном шкафу.

При выпаривании чашку наполняют водой не более чем на 3/4 объёма, постепенно прибавляя оставшуюся воду по мере упаривания пробы.

Если аликвотная часть пробы воды составляет (500 - 1000) см³, то допускается проводить выпаривание с применением ротационного испарителя. Воду упаривают приблизительно до 50 см³, затем количественно переносят в выпарную чашку и выпаривают на водяной бане досуха.

После выпаривания внешнюю поверхность чашки с сухим остатком тщательно вытирают фильтровальной бумагой и помещают в сушильный шкаф, нагретый до (105 ± 2) °С, высушивают в течение трех часов, охлаждают в эксикаторе, взвешивают.

При определении прокаленного остатка чашку с сухим остатком помещают в муфельную печь, предварительно нагретую до 600 ± 20 °С, и прокаливают 20 минут. Охлаждают чашку в эксикаторе. После полного охлаждения чашку с остатком взвешивают. Прокаливание повторяют до достижения постоянной массы.

Если после первого прокаливания остаток в чашке имеет черный цвет, то его смачивают дистиллированной водой приблизительно 10 см³, и далее повторяют прокаливание, охлаждение и взвешивание до достижения постоянной массы.

Высушивание, охлаждение в эксикаторе до температуры окружающей среды и взвешивание повторяют до достижения постоянной массы, то есть до тех пор, пока разница между результатами двух последовательных взвешиваний будет не более 0,0005 грамм [14].

2.3.9 Методика определения содержания взвешенных веществ

Гравиметрический метод определения взвешенных веществ основан на выделении их из пробы фильтрованием воды через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм или бумажный фильтр «синяя лента» и взвешивании осадка на фильтре после высушивания его до постоянной массы.

Определение взвешенных веществ в пробах воды производили с использованием бумажного фильтра. Взвешенный бумажный фильтр помещали в воронку, смачивали небольшим количеством дистиллированной воды для хорошего прилипания и пропускали отмеренный объем тщательно перемешанной анализируемой пробы воды, подобранный с таким расчетом, чтобы масса осадка взвешенных веществ на фильтре находилась в пределах 3 - 200 мг.

По окончании фильтрования воде дали полностью стечь, затем фильтр с осадком трижды промыли дистиллированной водой порциями по 10 см³, осторожно вынимали пинцетом и помещали в тот же бюкс, в котором его взвешивали до фильтрования. Фильтр высушивали 2 ч при 105 °С, охлаждали в эксикаторе и, закрыв бюкс крышкой, взвешивали.

При необходимости процедуру сушки повторяют, пока разница между взвешиваниями будет не более 0,5 мг при массе осадка до 50 мг и 1 мг при массе более 50 мг.

Бумажные обеззоленные фильтры «синяя лента» маркируют, складывают, помещают в воронки и промывают 100 - 150 см³ дистиллированной воды. Затем пинцетом вынимают фильтр из воронки, помещают в сложенном виде в маркированный бюкс и высушивают в сушильном шкафу при 105 °С в течение 1 часа. Затем охлаждают бюксы с фильтрами в эксикаторе и, закрыв их крышками, взвешивают на лабораторных весах с точностью до 0,1 мг. Повторяют процедуру сушки до тех пор, пока разница между взвешиваниями будет не более 0,5 мг [15].

2.3.10 Методика определения элементного состава методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии

Метод рентгенофлуоресцентной спектрометрии основан на зависимости интенсивности характеристической флуоресценции элемента от его массовой доли в анализируемой пробе. Характеристическое флуоресцентное излучение, поступающее от анализируемой пробы во время определения, является результатом возбуждения атомов анализируемой пробы первичным излучением рентгеновской трубки.

Возбуждение атомов элемента из анализируемой пробы, выделение из всего потока излучения спектральных линий, принадлежащих каждому из определяемых элементов, и измерение их интенсивности происходит с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра. Интенсивность характеристической флуоресценции определяемых элементов пересчитывают в единицы концентраций по математическим моделям, полученным в результате градуировки спектрометра с помощью программного обеспечения рентгенофлуоресцентного спектрометра.

При определении химического состава почв методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии рекомендуется использовать наиболее интенсивные спектральные линии K- или L-серии.

При анализе с помощью рентгенофлуоресцентной спектрометрии подготовка аналитической пробы оказывает сильное влияние на точность результатов. Для количественного анализа твердые анализируемые пробы готовят в виде порошков, таблеток или сплавленных дисков. Взвешивания при подготовке анализируемых проб проводят на весах с пределом допустимой погрешности $\pm 0,0001$ грамм.

Измельченную анализируемую пробу помещают в полулю полиэтиленовую кювету, дно которой сформировано полиэтилентерефталатной пленкой.

Срок хранения пробы в эксикаторе должен составлять не более одного года.

Анализируемые пробы, полученные должны удовлетворять таким требованиям, как воспроизводить соотношение содержаний определяемых

элементов в анализируемой пробе, быть однородными, иметь минимальный размер частиц не более 100 мкм.

Градуировочные зависимости рентгенофлуоресцентного спектрометра для определяемых элементов получают с помощью ГСО или СО. Стандартные образцы должны быть близкими по составу к анализируемым пробам. При этом диапазон содержаний элементов в используемом комплекте стандартных образцов должен превышать определяемую область содержаний элементов в анализируемых пробах.

Подготовленные пробы стандартных образцов облучают и регистрируют спектр, как указано в руководстве по эксплуатации прибора. Для получения градуировочной зависимости используют не менее 10 образцов. При помощи программного обеспечения используемого спектрометра получают градуировочную зависимость между интенсивностями спектральных линий и содержанием элементов в стандартных образцах состава.

Подготовленные анализируемые пробы, помещают в камеру для облучения рентгенофлуоресцентного спектрометра, не допуская его загрязнения. Пробы облучают и регистрируют спектр, как указано в руководстве по эксплуатации прибора. Современные рентгенофлуоресцентные спектрометры снабжены программным обеспечением для обработки результатов измерений, учета матричных эффектов, внесения поправок на взаимное влияние элементов, которые необходимо применять в соответствии с рекомендациями производителя.

Полученный спектр интенсивностей характеристической флуоресценции определяемых элементов обрабатывают с использованием программного обеспечения по предварительно установленным градуировочным зависимостям и устанавливают содержания оксидов макроэлементов, выраженные в массовых процентах, и содержания микроэлементов, выраженные в мг/кг образца.

Каждую пробу анализируют однократно, помещая ее в камеру для облучения рентгенофлуоресцентного спектрометра. Полученные результаты усредняют [16].

2.3.11 Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом

Метод определения величины рН проб воды основан на измерении ЭДС электродной системы, состоящей из стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов, и вспомогательного электрода сравнения с известным потенциалом.

Анализируемую пробу объемом 30 см³ помещают в химический стакан вместимостью 50 см³. Электроды промывают дистиллированной водой, обмывают исследуемой водой, погружают в стакан с анализируемой пробой. При этом шарик стеклянного измерительного электрода необходимо полностью погрузить в раствор, а солевой контакт вспомогательного электрода должен быть погружен на глубину 5 - 6 мм. Одновременно в стакан погружают термокомпенсатор.

Отсчет величины рН по шкале прибора проводят, когда показания прибора не будут изменяться более чем на 0,2 единицы рН в течение одной минуты, через минуту измерение повторяют, если значения рН отличаются не более чем на 0,2, то за результат анализа принимают среднее арифметическое значение. После измерений электроды ополаскивают дистиллированной водой и протирают фильтровальной бумагой или мягкой тканью.

Если возникает необходимость обезжирить электрод, то его протирают мягкой тканью, смоченной этиловым спиртом и затем несколько раз ополаскивают дистиллированной водой и протирают мягкой тканью.

При необходимости электрод регенерируют погружением на 2 часа в 2 %-ный раствор соляной кислоты и далее тщательно промывают дистиллированной водой.

За результат измерения принимают значение рН, которое определяют по шкале прибора, а за результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений [17].

2.3.12. Методика определения гранулометрического состава

Определение гранулометрического состава донных отложений определяли по массовому содержанию в нем частиц различной крупности, выраженному в процентах по отношению к массе сухой пробы, взятой для анализа.

Пробы при разделении их на фракции готовят для выделения частиц размером более 0,1 мм растиранием грунта и растиранием с промывкой водой. Допускается растирать образцы в растирочной машине, не вызывающей дробления частиц. При определении гранулометрического состава ситовым методом с промывкой водой применяют водопроводную или профильтрованную речную воду.

Взвешивание проб на технических весах следует проводить с погрешностью до 0,01 грамма, а при массе проб грунта 1000 грамм и более взвешивание допускается проводить с погрешностью до 1 грамма. Взвешивание на аналитических весах должно проводиться с погрешностью до 0,001 грамма. Результаты вычисления гранулометрического состава следует определять с погрешностью до 0,1%.

Среднюю пробу для анализа отбирали методом квартования. Использовали стандартный комплект алюминиевых сит, состоящий из сит с отверстиями диаметром 3,25; 2,0; 1,5; 1,2; 1,0; 0,50; 0,315; 0,25 мм.

Пробу доводят до воздушно-сухого состояния, растирают комки в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником. Отбирают среднюю пробу методом квартования и взвешивают на весах. Сита монтируют в колонку, размещая их от поддона в порядке увеличения размера отверстий. На верхнее сито надевают крышку. Отобранную пробу переносят на верхнее сито первого набора, закрывают крышкой и просеивают с помощью легких боковых ударов ладонями рук до полной сортировки. Фракции, задержавшиеся на ситах, высыпают, начиная с верхнего сита, в ступку и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на тех же ситах.

Полноту просеивания фракций проверяют встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Если при этом на лист выпадают частицы, то их высыпают на следующее сито, и просев продолжают до тех пор, пока частицы не перестанут выпадать на бумагу.

Фракции, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, необходимо взвесить и суммировать массы всех фракций грунта. Если полученная сумма масс всех фракций грунта превышает более чем на 1% массу взятой для анализа пробы, то анализ следует повторить. Потерю при просеивании разносят по всем фракциям пропорционально их массе [18].

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Расположение пунктов наблюдений на исследуемых водных объектах

Отбор проб воды и грунта проводился в марте до начала снеготаяния (зимняя межень), в апреле в период половодья и в июне 2016 года, всего на девяти пунктах наблюдений. Расположение пунктов наблюдений показано на рисунке 1.

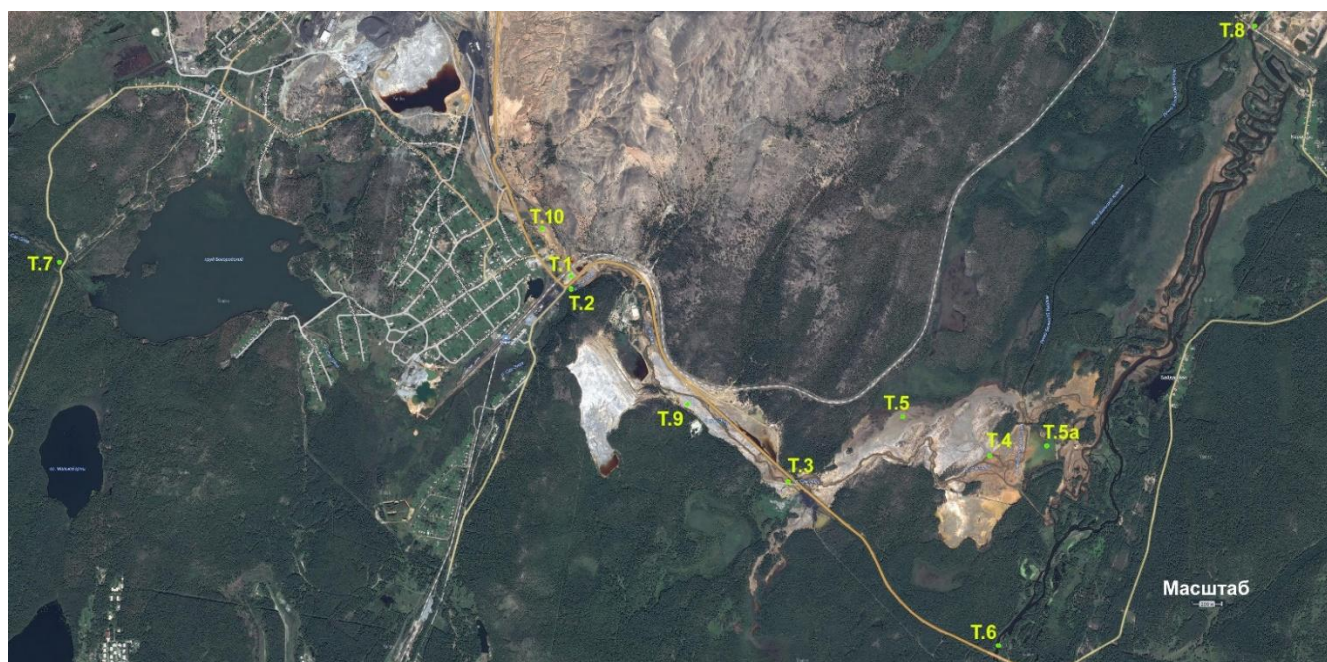


Рисунок 1 – Карта-схема расположения точек отбора проб

Точки отбора проб была установлена на ручье, являющимся притоком реки Сак-Элга, с которым поступает большая часть загрязнений. Ручей принимает в себя поверхностный сток с промышленных предприятий, а также сток со склонов по левому берегу, которые лишены растительного покрова. Точка 1 расположена между автомобильным и железнодорожным мостами перед впадением ручья в реку Сак-Элга.

На реке Сак-Элга было выбрано 7 точек отбора проб. Точка 2 расположена на 50 метров выше впадения ручья и пробы из этого пункта характеризуют качество воды реки Сак-Элга до слияния с водами ручья. Точка 3 расположена на 2,4 километра ниже впадения ручья, перед автомобильным мостом, и пробы из

этого пункта характеризуют качество воды реки Сак-Элга после полного перемешивания с водами ручья. Точка 4 отмечена на 4,4 километра ниже места впадения в неё ручья. Склон по левому берегу реки Сак-Элга, находящийся в её нижнем течении в 230 метрах от русла и около 3,6 километрах от места впадения ручья указан точкой 5. Место предполагаемого водохранилища на реке Сак-Элга, которое находится в 4,9 километрах от места впадения ручья и перед впадением в реку Миасс, указано точкой 5а. Точка 7 характеризует качество воды реки Сак-Элга выше Богородского пруда до поступления стоков с урбанизированной территории через реку Серебрянка и ручей.

Два пункта наблюдений было организовано на реке Миасс, точка 6 находится около 1 километра выше впадения реки Сак-Элга, около автомобильного моста; и точка 8, находящаяся ниже впадения реки Сак-Элга на 3,6 километра, в районе шлюзов дамбы бывшего пруда перед Аргазинским водохранилищем.

С помощью GPS-навигатора были определены координаты пунктов наблюдений, указанных в таблице 1. Проекция географическая (широта/долгота), с системой координат WGS84.

Таблица 1 – Координаты пунктов наблюдений

№ точек	Долгота	Широта
Точка 1	55 26 47,4 с. ш.	60 13 28,2 в. д.
Точка 2	55 26 43,6 с. ш.	60 13 27,2 в. д.
Точка 3	55 26 0,5 с. ш.	60 14 52,1 в. д.
Точка 4	55 26 6,3 с. ш.	60 16 11,3 в. д.
Точка 5	55 26 15,1 с. ш.	60 15 37,2 в. д.
Точка 5а	55 26 8,2 с. ш.	60 16 33,2 в. д.
Точка 6	55 25 23,6 с. ш.	60 16 14,6 в. д.
Точка 7	55 26 49,5 с. ш.	60 10 6,2 в. д.
Точка 8	55 27 42,4 с. ш.	60 17 55,6 в. д.

03 марта 2016 года были отобраны восемь проб воды и донных отложений (точки 1, 2, 3, 4, 5а, 6, 7, 8). 12 апреля 2016 года были отобраны восемь проб воды и донных отложений (точки 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8). Из-за весеннего разлива воды на

участке точек 4 и 5а пробу удалось взять посередине между этими пунктами, она обозначена как точка 4/5а. 26 июня 2016 года было отобрано шесть проб воды и донных отложений (точки 3, 4, 5а, 6, 7 и 8).

Воду для гидрохимического анализа и отбирали из поверхностного горизонта по 5 дм³. Пробы помещали в пластиковые ёмкости и маркировали в соответствии с номерами пунктов наблюдения.

3.2 Результаты физико-химического и элементного анализа проб воды и донных отложений

Использование водных объектов для различных целей определяется качеством воды водоёма. Длительное использование воды поверхностных водоёмов приводит к изменению их качественных характеристик в результате сброса вод различного происхождения и состава, что нарушает естественные водные экосистемы. Водоёмы теряют способность к самоочищению, становятся малопригодными для различных видов хозяйственного применения. Среди факторов, обуславливающих самоочищение водоёмов, первостепенное значение имеют разбавление, растворение и перемешивание поступающих загрязнителей. Для сохранения самоочищающей способности воды необходимо более чем десятикратное разбавление стоков чистой водой.

Река Сак-Элга является притоком реки Миасс, сток которой зарегулирован Аргазинским и Шершневским водохранилищами. Основным назначением Аргазинского и Шершневского гидроузлов является обеспечение водоснабжения города.

В пробах воды контрольных точек был проведен физико-химический и элементный анализ состава. Полученные данные количественного химического анализа состава воды представлены в таблицах 2-4.

Таблица 2 – Сводная таблица анализа воды, отобранной 03 марта 2016 года
(период снегового покрова)

№ п/п	Определяемая характеристика	Номер точки								Ед. измерения
		Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5а	Точка 6	Точка 7	Точка 8	
1	рН	3,05	6,79	5,50	3,73	3,99	7,53	7,11	7,42	ед. рН
2	Взвешенные вещества	272,7	38,0	104,0	2410,0	62,7	71,3	7,5	5,5	мг /дм ³
3	Окисляемость перманганатная	42,34	5,02	6,86	61,15	4,47	6,04	4,90	4,63	мгО ₂ /дм ³
4	ХПК	57,0	69,0	38,0	272,0	25,0	29,6	26,0	23,0	мгО ₂ /дм ³
5	Сухой остаток	4218,0	231,3	582,7	4931,0	583,3	185,3	87,0	289,5	мг/дм ³
6	Зольность	3251,0	164,7	502,7	4201,0	508,0	167,0	81,0	271,0	мг/дм ³
7	Cl ⁻	38,26	64,95	11,53	86,46	21,87	8,12	11,97	1,16	мг/дм ³
8	NO ₂ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	2,44	3,62	мг/дм ³
9	SO ₄ ²⁻	2677,00	356,70	379,30	3100,00	507,44	29,05	62,88	25,11	мг/дм ³
10	NO ₃ ⁻	8,06	2,03	2,04	22,86	1,65	8,42	13,05	1,40	мг/дм ³
11	F ⁻	0,532	2,483	0,442	0,909	0,676	0,130	0,183	0,188	мг/дм ³
12	PO ₄ ³⁻	0,0200	0,0028	0	0,030	0	0,130	0,400	0,280	мг/дм ³
13	Zn ²⁺	63,800	0,875	0,050	89,900	0,084	0,022	0,022	0,139	мг/дм ³
14	Cd ²⁺	0,0800	0,0002	0,0140	0,1650	0,0140	0,0002	0,00001	0,0006	мг/дм ³
15	Pb ²⁺	0,1500	0,0015	0,0001	0,3850	0,0096	0,0005	0,0007	0,0056	мг/дм ³
16	Ni ²⁺	0	0,0197	0,0360	0	0,1800	0,0647	0,0521	0,0519	мг/дм ³
17	Co ²⁺	0	0	0,065	0	0,172	0	0	0	мг/дм ³
18	Cu ²⁺	0	0,21	1,10	0	1,75	0,16	0,18	0,20	мг/дм ³
19	Fe (общ)	0	0,54	0,69	19,89	4,44	0,28	0,49	0,69	мг/дм ³
20	As ³⁺	0,0760	0,0069	0,001	0,0106	0,0018	0,0293	0,001	0,001	мг/дм ³

Таблица 3 – Сводная таблица анализа воды, отобранной 12 апреля 2016 года (период половодья)

№ п/п	Определяемая характеристика	Номер точки							Ед. измерения
		Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4/5а	Точка 6	Точка 7	Точка 8	
1	pH	2,93	6,51	5,40	4,44	6,34	6,21	7,36	ед. pH
2	XПК	111,0	51,0	35,0	49,0	41,0	42,0	52,0	мгО ₂ /дм ³
3	Взвешенные вещества	1256,7	23,0	94,0	820,0	37,0	6,4	5,3	мг/дм ³
4	Окисляемость перманганатная	100,016	5,038	7,520	10,152	7,670	7,219	8,497	мг/дм ³
5	Сухой остаток	5775	149	214	261	61	62	164	мг/дм ³
6	Зольность	544	25	29	212	41	38	112	мг/дм ³
7	Cl ⁻	26,15	1,17	7,41	7,31	0,76	4,18	7,32	мг/дм ³
8	NO ₂ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	мг/дм ³
9	SO ₄ ²⁻	4485,00	16,05	124,20	147,03	27,04	27,86	79,54	мг/дм ³
10	NO ₃ ⁻	12,09	1,35	1,77	1,78	1,05	2,48	1,61	мг/дм ³
11	F ⁻	0,353	0,063	0,141	0,173	0,031	0,092	0,000	мг/дм ³
12	PO ₄ ³⁻	0,020	0,045	0,006	0,006	0,040	0,043	0,112	мг/дм ³
13	Zn ²⁺	39,900	1,570	1,700	1,310	0,014	0,089	0,108	мг/дм ³
14	Cd ²⁺	0,1940	0,0020	0,0070	0,0020	0,0001	0,0002	0,0001	мг/дм ³
15	Pb ²⁺	0,0120	0,0002	0,0102	0,0004	0,0013	0,0017	0,0037	мг/дм ³
16	Ni ²⁺	0	0,0040	0,0222	0,1590	0,0008	0,0105	0,0096	мг/дм ³
17	Co ²⁺	2,55	1,35	1,23	0,69	0,41	0,36	0,30	мг/дм ³
18	Cu ²⁺	99,240	0,195	0,397	0,574	0,268	0,211	0,319	мг/дм ³
19	Fe (общ)	366,60	0,68	4,72	4,76	0,73	0,62	1,29	мг/дм ³
20	As ³⁺	2,61	0,013	0,001	0,001	0,001	0,006	0,001	мг/дм ³

Ввиду особенностей местности, заполненной паводковой водой, пробы были отобраны между точками 4 и 5а.

Таблица 4 – Сводная таблица анализа воды, отобранной 23 июня 2016 года
(период летней межени)

№ п/п	Определяемая характеристика	Номер точки						Ед. измерения
		Точка 3	Точка 4	Точка 5а	Точка 6	Точка 7	Точка 8	
1	pH	5,06	4,74	3,57	8,68	7,20	7,97	ед. pH
2	Взвешенные вещества	93	33	7	25	101	100	мг/дм ³
3	Окисляемость перманганатная	5,30	7,76	1,42	10,70	8,83	10,36	мгО/дм ³
4	ХПК	20,9	58,0	17,4	46,0	53,8	61,0	мгО ₂ /дм ³
5	Сухой остаток	684	788	564	355	252	346	мг/дм ³
6	Зольность	566	622	476	210	100	190	мг/дм ³
7	Cl ⁻	11,42	13,05	13,82	0,74	1,10	9,02	мг/дм ³
8	NO ₂ ⁻	0,00	0,00	0,48	0,41	0,00	0,00	мг/дм ³
9	SO ₄ ²⁻	447,44	532,10	289,32	38,13	27,77	60,26	мг/дм ³
10	NO ₃ ⁻	1,71	3,09	1,73	12,20	0,27	2,72	мг/дм ³
11	F ⁻	0,510	0,476	0,185	0,201	0,315	0,196	мг/дм ³
12	PO ₄ ³⁻	0,381	0,014	0,026	1,040	0,079	0,130	мг/дм ³
13	Zn ²⁺	8,9500	4,0500	3,3400	0,0013	0,0550	0,1360	мг/дм ³
14	Cd ²⁺	0,0137	0,0084	0,0085	0,0039	0,0003	0,0005	мг/дм ³
15	Pb ²⁺	0,0005	0,0190	0,0037	0,0018	0,0013	0,0043	мг/дм ³
16	Ni ²⁺	0,2350	0,2370	0,0890	0,0061	0,0008	0,0012	мг/дм ³
17	Co ²⁺	2,550	2,000	0,251	0	0,142	0	мг/дм ³
18	Cu ²⁺	2,659	2,593	0,125	0,103	0,237	0,163	мг/дм ³
19	Fe (общ)	11,820	14,860	1,220	0,599	0,998	0,678	мг/дм ³
20	As ³⁺	0,013	0,026	0,013	0,001	0,002	0,029	мг/дм ³

Согласно расположению пунктов наблюдений на ручье, точка 1, которая находится в 130 метрах от места его впадения в реку Сак-Элга, между автомобильным и железнодорожным мостами через ручей, необходимо отметить, что концентрация свинца в зимний период находится в пределах 0,15 мг/л,

кадмия 0,080 мг/л, содержание меди находится на уровне 99,24 мг/л. Сульфат-ионы присутствуют в количестве 2677 мг/л в зимний период и 4485 мг/л в весенний период, при этом значение рН составляет около 3 единиц.

В точке 3 на реки Сак-Элга, расположенной ниже впадения в неё ручья в 2,4 километрах, в точке 4 в месте возможного разлива реки в половодье, расположенной ниже впадения в неё ручья в 4,4 километрах, и в точке 5, которая находится примерно в 3,6 километрах от места впадения ручья и в 230 метрах от русла, отмечается наличие таких тяжелых металлов, как кадмий, свинец, никель, кобальт на уровне сотых и тысячных мг/л. Концентрация меди колеблется в пределах от 1,75 мг/л в зимнюю межень до 0,3...0,57 мг/л в летний период. Следует отметить снижение концентрации сульфат-ионов в реке Сак-Элга по сравнению с ручьем до 120...140 мг/л. Значение рН ниже впадения Рыжего ручья изменяется в пределах от 5,06 в точке 3, до 4...3,5 единиц в точках 4 и 5.

Качество воды в реке Миасс на уровне фоновом створа в точке 6, находящейся выше впадения реки Сак-Элга и около 1 километра от автомобильного моста и примерно в 3,6 километрах ниже впадения реки Сак-Элга, в районе бывшей нижней дамбы Аргазинского водохранилища в точке 8, по тяжелым металлам характеризуется концентрациями более низкими, чем в точках 4 и 5. Наблюдается также снижение концентрации сульфат-ионов до 0,25...0,30 мг/л.

Значение рН на уровне нижнего фоновом створа в реке Миасс составляет 7,1...8,0 единиц, понижаясь в период половодья до 6,2...6,3 единиц, согласно полученным данным, приведенным в таблице 3.

Проведенный в таблице 5, анализ элементного состава сухого остатка воды на рентгенфлуоресцентном спектрометре позволяет судить о веществах, кроме газов, содержащихся в воде в растворенном состоянии.

Таблица 5 – Элементный состав образцов сухого остатка воды

Химический элемент	Содержание химических элементов в массовых процентах				
	Точка 3	Точка 4	Точка 5а	Точка 6	Точка 7
Na	1,84	1,92	0,97	9,02	6,43
Mg	6,24	5,66	4,31	12,93	5,74
Al	0	0,2	0,105	0,155	0,080
Si	1,135	1,02	0,64	1,44	6,62
P	0	0	0	0,055	0
S	16,82	17,14	16,03	6,20	9,62
Cl	0	0	0,405	5,23	0,240
K	0,705	0,42	0,230	0,83	0,485
Ca	9,72	10,62	12,08	13,11	12,21
Mn	0,675	0,675	0,235	0	0
Fe	2,06	2,26	1,28	0	0,68
Cu	0,205	0	0	0,155	0,85
Zn	1,82	1,49	0,325	0	0
Br	0,115	0	0,330	0	0

Из представленных в таблице 5 данных можно отметить достаточно низкое содержание соединений меди в растворенном состоянии, а также практическое отсутствие хлорид-ионов в точках 3 и 4, которые характеризуют реку Сак-Элга после впадения ручья. В то же время содержание сульфат-ионов превалирует для воды во всех контрольных точках после впадения ручья. Однако содержание сульфат-ионов в воде реки Миасс, в точке 6 и реке Сак-Элга, в точке 7 до впадения ручья значительно ниже: около 6 % масс. в точке 6, около 9 % масс. в точке 7 и 16...17 % масс. после впадения ручья. Следует также отметить пониженное содержание кремния и кремниевых кислот в воде реки Сак-Элга по отношению к воде реки Миасс. Растворимость кремниевой кислоты в природных водах зависит от ряда факторов, и в первую очередь – от ионного состава воды и значения рН. Присутствие в воде катионов кальция и магния, способных образовывать с кремниевой кислотой малорастворимые силикаты, понижает её возможную концентрацию в растворе.

Согласно данным анализа сухого остатка, растворенные вещества представлены преимущественно соединениями минерального происхождения, содержащие такие элементы, как кремний, кальций и магний.

Для комплексной оценки состояния реки был проведен элементный анализ состава донных отложений контрольных точек, данные которого представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание химических элементов в донных отложениях контрольных точек

Химический элемент	Содержание химических элементов в массовых процентах							
	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 5а	Точка 6	Точка 7	Точка 8
Na	0,748	0,338	0,514	0,708	0,384	0,903	1,54	0
Mg	3,22	7,99	7,10	1,62	3,89	4,26	2,97	3,40
Al	11,54	7,14	7,10	9,89	11,00	12,14	11,68	10,24
Si	42,01	38,97	37,44	27,24	40,04	43,04	51,20	44,09
P	1,07	0,866	0,848	0,891	0,895	1,08	1,21	1,54
S	1,15	3,27	5,67	5,86	1,60	0,461	0,185	1,97
Cl	0,027	0	0	0,021	0	0,030	0	0,025
K	3,68	2,11	2,41	5,00	4,59	4,87	2,56	3,85
Ca	7,85	5,52	3,38	1,21	1,74	5,67	15,57	5,90
Ti	1,44	0,568	0,712	0,583	1,08	1,43	0,678	1,29
Cr	0,495	0,437	0	0	0	0,137	0,094	0,277
V	0	0	0	0,575	0,0073	0,045	0	0
Mn	0,297	0,220	0,181	0,049	0,113	0,396	0,275	0,341
Fe	25,61	30,12	30,83	40,97	31,96	25,09	11,624	25,40
Ni	0,132	0,182	0,178	0	0,205	0,110	0	0,091
Cu	0,432	0,504	0,390	0,220	0,514	0,064	0,035	0,456
Zn	0,174	0,569	0,357	0,137	0,420	0,116	0,123	0,755
As	0	0,146	0	0	0,207	0	0	0,106
Rb	0	0	0	0	0,046	0,037	0	0
Sr	0,127	0,096	0,082	0,086	0,059	0,134	0,248	0,143
Y	0	0	0,0185	0	0	0	0	0
Ba	0	0,962	2,43	4,06	0,813	0	0	0
Pm	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0	0,360	0,891	0,421	0	0	0
Zr	0	0	0	0	0	0	0	0,134

Полученные данные позволяют отметить, что высокое содержание железа в донных отложениях наблюдается для всех контрольных точек, как в реке Сак-Элга, так и в реке Миасс до и после впадения реки Сак-Элга; исключение составляет точка 7, характеризующая качество воды река Сак-Элга до Богородского пруда. Наиболее низкое содержание меди в донных отложениях отмечается в этой же точке (0,035 % масс.). На остальных контрольных точках концентрация меди в донных отложениях находится в пределах 0,5...0,4 % масс. Следует отметить, что в донных отложениях реки Миасс концентрация меди возрастает после впадения реки Сак-Элга в точке 8 и составляет 0,456 % масс. против 0,035% масс. в точке 6, которая характеризует воды реки Миасс до впадения реки Сак-Элга.

Практически во всех контрольных точках в донных отложениях отмечается наличие марганца, цинка, титана и стронция.

3.3 Экспериментальные исследования по выщелачиванию донных отложений

Интенсивное использование водных ресурсов влечет за собой резкое изменение их качественных параметров в результате сброса в воду самых разнообразных загрязнителей антропогенного происхождения, способствует разрушению естественных экосистем. Вода теряет способность к самоочищению. Самоочищение в гидросфере связано с круговоротом веществ. В водоемах оно обеспечивается совокупной деятельностью населяющих их организмов. Поэтому одна из важнейших задач рационального водопользования состоит в том, чтобы поддержать эту способность. Факторы самоочищения водоемов многочисленны и разнообразны, условно их можно разделить на три группы: физические, химические и биологические.

Среди физических факторов, обуславливающих самоочищение водоемов, первостепенное значение имеют разбавление, растворение и перемешивание поступающих загрязнителей. Интенсивное течение реки обеспечивает хорошее

перемешивание и снижение концентрации взвешенных частиц; в озерах, водохранилищах, прудах действие физических факторов ослабевает. Оседание в воде нерастворимых осадков, а также отстаивание загрязненных вод способствует самоочищению водоемов. Важным фактором самоочищения водоемов является ультрафиолетовое излучение солнца. Под влиянием этого излучения происходит обеззараживание воды.

Одним из важнейших показателей, характеризующих процессы оседания частиц в водоёме является мутность является показателем качества воды, который обусловлен присутствием в воде нерастворенных и коллоидных веществ неорганического и органического происхождения. Причиной мутности поверхностных вод являются илы, кремниевая кислота, гидроокиси железа и алюминия, органические коллоиды, микроорганизмы и планктон. Мутность воды от истока к устью возрастает в межень и снижается в период повышенной водности. Эта закономерность нарушается главным образом при зарегулированности речного бассейна, несовпадении фаз водного режима на главной реке и её притоках, специфических условиях формирования стока наносов в бассейне реки (вулканические районы, проведение горных работ). Вертикальное распределение мутности воды в нижнем течении больших равнинных рек часто носит равномерный или обратный характер вне зависимости от фазы водного режима, при этом основным фактором изменения мутности по глубине служит транспортирующая способность потока. Распределение мутности по ширине рек зависит от морфодинамического типа русла и является нестабильным в период повышенной водности [2].

В период снеготаяния и выпадения дождей поверхностный сток характеризуется повышенным содержанием взвешенных частиц, в данном случае, минерального происхождения. Сток таких вод в реку способствует увеличению содержания взвешенных частиц. В процессе движения воды в реке (сток дождевых и талых вод в процессе выпадения дождей и снеготаяния) также возможно взмучивание и вынос донных отложений.

Одной из основных составляющих водных объектов являются донные отложения, определяющие состояние водных объектов. Как правило, в донных отложениях происходит аккумуляция большей части органических и неорганических загрязняющих веществ, которые при определенных условиях могут переходить в водную толщу, вызывая ее вторичное загрязнение. Процесс накопления и токсическое действие загрязняющих веществ в донных отложениях зависят от многих факторов: их природы и физико-химических свойств, типа донных отложений, температурного режима, окислительно-восстановительных условий, наличия взвешенных веществ и т.д. Особое внимание обращается на взвешенные вещества, потому что они сорбируют значительную часть поступающих в водный объект загрязняющих веществ. Небольшие глубины, особенности водосбора, характер поступления сточных вод, присутствие взвешенных веществ, характерные для большинства водотоков и водоемов, способствуют седиментации сорбированных взвешенными веществами загрязняющих веществ без существенного изменения их химического состава и интенсивному накоплению на дне, где процессы биохимического окисления протекают гораздо медленнее [2].

В природных водах взвешенные вещества могут находиться в агрегативно-устойчивом (неизменны по форме и свойствам) или агрегативно-неустойчивом (свойства и форма изменяются во времени) состоянии. При движении воды, как правило, массообменные и русловые процессы предопределяются характером потока. Процессы распространения осадения примесей, поступающих в речной поток, зависят от распределения скоростей и турбулентности речных водотоков. Исследователи отмечают, что загрязненные русловые отложения, обладающие повышенной устойчивостью к размыву, не могут быть удалены речным потоком самостоятельно, необходимы определенные инженерные мероприятия по очистке русел и утилизации изымаемых при этом загрязненных речных илов [19, 20].

Скорость осадения взвеси в водной среде определяется размерами, формой, плотностью частиц, шероховатостью их поверхности и другими факторами. Для

мелкодисперсных частиц основными силами сопротивления является вязкость воды. Для частиц средних размеров сопротивление жидкости определяется как силами вязкости, так и силами инерции. Особенность процесса взвешивания и перемещения частиц мелкой взвеси водным потоком связаны с проявлениями поверхностных эффектов, малой гидравлической крупностью частиц, определяющих медленное осаждение их после взмучивания, а также соизмеримостью размера частиц с толщиной вязкого подслоя (d_b), что определяет вязкое обтекание их потоком при осаждении на дно. Обычно к этому классу взвесей относят твердые частицы диаметром меньше 0,1...0,2 мм и с гидравлической крупностью $W < (1...2)$ см/с [19].

При размерах частиц, имеющих размер меньше толщины вязкого подслоя ($d < d_b$), конечная стадия осаждения частиц мелкой взвеси будет происходить в пределах вязкого подслоя, и особенности течения в вязком подслое будут оказывать определенное влияние на процесс осаждения. При малой гидравлической крупности частицы легко вовлекаются в турбулентное движение водных масс и их движение обычно рассматривается на основе диффузионной теории переноса. Неравномерность распределения взвеси по глубине потока можно характеризовать отношением средней концентрации к исходной (\bar{C} к C_0).

Также осаждение мелкой взвеси в речном русле изменяет физико-механические характеристики зернистого руслового грунта, влияет на размыв и транспорт наносов. Исследования гранулометрии донных отложений показывают, что частицы мелкой взвеси составляют значительную долю в общем составе речных отложений, часто превышающую 50% по весу.

Выделяют несколько факторов, определяющих процесс осаждения мелкой взвеси. Главная особенность процесса осаждения связана с размером частиц, являющихся меньше толщины вязкого подслоя, в этом случае на заключительную фазу процесса осаждения определяющее влияние оказывают характеристики течения в пределах вязкого подслоя.

Вторая особенность состоит в том, что турбулентная диффузия перестает играть роль фактора, поддерживающего равновесную концентрацию взвеси, и приобретает роль механизма, поставляющего взвешенные наносы к верхней границе вязкого подслоя, т. е. способствует осаждению.

Наконец, третья особенность заключается в проявлении поверхностных когезионных сил, возникающих при сближении мелких оседающих частиц с донным грунтом на расстояние, меньшее толщины вязкого подслоя $d_{пр}$, равное двум микронам. Эти силы сцепления затрудняют повторное взвешивание частиц.

Протяженность загрязненного участка речного русла на малых и средних реках может достигать нескольких десятков километров [19].

Взвешенные вещества рек представлены в двух формах – подвижные и неподвижные. Подвижные формы элементов входят в сорбированный комплекс, гидроокислы железа и марганца, легко растворимые карбонаты, органическое вещество и при изменении условий могут переходить в растворенное состояние. Элементы неподвижной формы находятся в кристаллических решетках минералов и в раствор практически не переходят. В речных взвесьях преобладают формы элементов, входящие в гидроокислы железа и марганца и в кристаллические решетки силикатов. Подчиненное значение имеют органические и поверхностно-сорбированные формы. В озерной воде также имеются механические взвеси. Чаще всего это тонкие глинистые и пылеватые частицы, приносимые в озеро текучей водой, подземными водами или ветром [4].

Донные отложения характеризуются, как минеральные и органические компоненты, являющиеся «сборщиками» тяжелых металлов и образующие с ними соединения, характеризующиеся высокой прочностью (оксиды железа и марганца и органические (в частности, гуминовые) вещества). Также отмечается высокая потенциальная сорбционная способность этих веществ, которая может обеспечить самоочищение водохранилищ от тяжелых металлов до фонового содержания. В то же время в определенных условиях (изменение pH, наличие разнообразных комплексообразующих веществ) не исключены процессы десорбции металлов и их

переход в растворенном состоянии в толщу воды, в результате донные отложения превращаются в источники вторичного загрязнения водных объектов. И в этом случае уровень загрязнения воды и уровень загрязнения донных отложений не совпадают. В водохранилищах из-за значительного уменьшения интенсивности водообмена донные отложения сорбируют и накапливают токсические вещества до уровней, многократно превышающих их содержание в водной толще[5].

Сброшенные в водоем частицы грунта будут одновременно осаждаться под действием силы тяжести и смешиваться с водой водоёма, поэтому на некотором расстоянии от места сброса концентрация взвешенных частиц, происходит понижение концентрации. Условия нарушения устойчивости и начала движения частиц на дне водных потоков определяются критическими значениями скорости потока («неразмываемыми» скоростями) и проявляются специфически на равнинных реках и реках горно-предгорной зоны, сложенных, соответственно, из песчаного и гравийно-галечного материала [5].

Мутность воды от истока к устью возрастает в межень и снижается в период повышенной водности, но эта закономерность нарушается при зарегулированности речного бассейна [21, 22].

Как правило, в природной воде взвесь представляет собой полидисперсную систему, поэтому характер осаждения такой взвеси устанавливается экспериментально. Известно, что время осаждения взвеси зависит от высоты слоя пробы (h/t). Величина скорости осаждения частиц зависит от размера, формы, плотности, шероховатости частиц и режима движения воды и ее вязкости.

Кроме того, процессы деструкции примесей в донных отложениях приводят к образованию высококонцентрированных поровых растворов, которые диффундируют в речную воду и вызывают ее вторичное загрязнение.

Исследования морфологии и кинетики осаждения донных отложений контрольных точек проводили в стационарных условиях. Пробы донных отложений контрольных точек помещали в стеклянные сосуды одинакового диаметра и высоты с установленной толщиной слоя отложений составляла

10 миллиметров и глубиной столба воды над отложениями 60 миллиметров. Для проведения эксперимента использовалась вода контрольных точек.

Исследование дисперсного состава донных отложений, приведенные в таблице 7 и таблице 8, показывает разделение частиц на две группы. Мелкодисперсные частицы (0,25 мм и менее) составляют 25...30 % и частицы размером более 3,2 мм составляют 15...30 %, за исключением точки 7, установленной на реке Сак-Элга до Богородского пруда, где основная масса частиц (около 90 %) представлена частицами размером 0,3...3,2 мм и более.

Сухие пробы взвешивались и подвергались ситовому рассеву на фракции. Масса сырой пробы составляла 100 грамм. Пробы высушивались при температуре 220 °С в течение 3 часов.

Таблица 7 – Дисперсный состав донных отложений контрольных точек

Номер точки	Размер частиц, мм (ситовой анализ)									Сумма фракций, г
	< 0,25	0,25	0,315	0,50	1,00	1,20	1,50	2,0	≥ 3,25	
	Масса фракции, г									
2	20,32	2,35	8,22	6,23	7,52	2,28	3,86	1,71	10,76	63,25
3	13,40	2,12	4,20	4,81	8,93	2,71	3,80	0,93	17,92	58,82
4	17,32	1,39	5,83	6,04	10,88	2,80	4,23	0,96	17,77	67,22
5	13,66	0,40	1,43	0,98	1,59	0,39	0,42	0,10	1,03	20,00
5a	18,85	1,17	6,01	6,17	9,37	2,18	2,95	0,32	2,32	49,34
6	5,01	0,73	2,66	1,85	3,45	1,01	1,82	0,46	20,08	37,07
7	0,44	0,79	18,17	16,09	5,95	0,23	0,11	0	0,10	41,88
8	15,07	3,61	12,28	4,47	5,72	0,84	0,97	0,27	15,07	58,30

Таблица 8 – Содержание частиц различных размеров в донных отложениях

Номер точки	Размер частиц, мм (ситовой анализ)								
	< 0,25	0,25	0,315	0,50	1,00	1,2	1,5	2,0	≥ 3,25
	Доля частиц различных размеров, %								
2	32,15	3,74	12,90	9,86	11,89	3,62	6,11	2,71	17,02
3	22,78	3,61	7,14	8,18	15,18	4,61	6,46	1,58	30,46
4	25,76	2,07	8,67	8,98	16,18	4,16	6,29	1,44	26,45
5	23,76	3,76	7,45	8,53	15,84	0,49	6,74	1,65	31,78
5а	38,21	2,37	12,18	12,51	18,99	4,42	5,98	0,64	4,70
6	13,51	1,97	7,18	4,99	9,31	2,73	4,91	1,24	54,16
7	1,05	1,89	43,38	38,42	14,21	0,55	0,26	0	0,24
8	25,85	6,19	21,06	7,67	9,81	1,44	1,66	0,46	25,86

Были поставлены две серии экспериментов. Пробы воды с донными отложениями подвергали перемешиванию в течение 2 часов, время последующего отстаивания составляло 2 и 24 часа. Полученные данные представлены в таблице 9 и таблице 10. С целью определения влияния гранулометрического состава частиц донных отложений на скорость осаждения анализировали изменение мутности воды в процессе отстаивания, данные представлены в таблице 11 и на рисунке 2. Время перемешивания перед отстаиванием составляло 2 ч.

Таблица 9 – Дисперсный состав донных отложений после отстаивания

Номер точки	Время отстаивания, ч	Размер частиц, мм (ситовой анализ)									Сумма фракций, г
		< 0,25	0,25	0,315	0,50	1,00	1,20	1,50	2,00	≥ 3,25	
		Масса фракции, г									
3	2	11,77	1,72	3,25	3,74	6,78	1,89	2,62	0,86	8,98	42,04
	24	10,39	1,84	3,85	3,22	6,73	2,09	2,76	0,63	9,49	41,26
5	2	6,31	0,41	1,82	1,60	2,40	0,77	1,11	0,19	1,10	16,04
	24	11,14	0,70	0,57	0,67	1,31	0,28	0,57	0,12	0,87	16,95
5а	2	10,86	0,76	3,1	2,3	5,03	1,12	1,69	0,32	2,27	27,78
	24	10,52	0,67	2,70	2,42	4,73	1,23	1,63	0,34	2,17	26,74

Номер точки	Время отстаивания, ч	Размер частиц, мм (ситовой анализ)									Сумма фракций, г
		< 0,25	0,25	0,315	0,50	1,00	1,20	1,50	2,00	≥ 3,25	
		Масса фракции, г									
6	2	3,66	1,51	5,58	2,98	5,64	1,65	2,11	0,61	13,28	37,3
	24	4,43	1,96	6,95	3,44	6,20	1,44	1,85	0,50	9,16	36,17
8	2	6,31	1,97	7,71	2,93	4,3	0,96	1,14	0,20	12,56	38,39
	24	7,76	2,0	5,53	1,63	1,87	0,41	0,54	0,23	11,05	30,97

Таблица 10 – Содержание частиц различных размеров в донных отложениях после отстаивания

Номер точки	Время отстаивания, ч	Размер частиц, мм (ситовой анализ)								
		<0,25	0,25	0,315	0,50	1,00	1,20	1,50	2,00	≥ 3,25
		Доля частиц различных размеров, %								
3	2	28,29	4,13	7,83	8,98	16,29	4,55	6,29	2,06	21,58
	24	25,35	4,49	9,39	7,86	16,42	5,09	6,73	1,53	23,14
	0	22,78	3,63	7,14	8,17	15,18	4,60	6,46	1,58	30,46
5	2	40,17	2,61	11,58	10,18	15,27	4,90	7,06	1,20	7,03
	24	68,64	4,32	3,51	4,12	8,07	1,72	3,52	0,74	5,36
	0	23,76	3,76	7,46	8,54	15,85	0,49	6,73	1,64	31,77
5а	2	39,56	2,77	11,29	8,37	18,34	4,08	6,17	1,16	8,26
	24	39,83	2,54	10,24	9,16	17,91	4,65	6,17	1,28	8,22
	0	38,22	2,37	12,18	12,51	18,99	4,41	5,97	0,64	4,71
6	2	9,88	4,08	15,07	8,07	15,25	4,45	5,69	1,64	35,87
	24	12,33	5,45	19,34	9,57	17,25	4,03	5,15	1,39	25,49
	0	13,54	1,96	7,17	4,99	9,32	2,72	4,90	1,24	54,16
8	2	16,57	5,17	20,24	7,69	11,29	2,53	2,99	0,54	32,98
	24	25,03	6,45	17,83	5,25	6,02	1,32	1,74	0,74	35,62
	0	25,85	6,19	21,06	7,66	9,83	1,45	1,66	0,46	25,84

Таблица 11 – Изменение мутности воды в процессе отстаивания донных отложений

Номер точки	Время отстаивания, ч	Мутность, мг/л	Концентрация взвешенных веществ, мг/л
4	2	0,538	0,312
	24	0,026	0,015
	0	2,445	1,418
5a	2	0,812	0,471
	24	0,104	0,060
	0	0,176	0,102
6	2	2,463	1,429
	24	1,192	0,691
	0	0,063	0,037
8	2	2,094	1,215
	24	0,954	0,553
	0	0,055	0,032

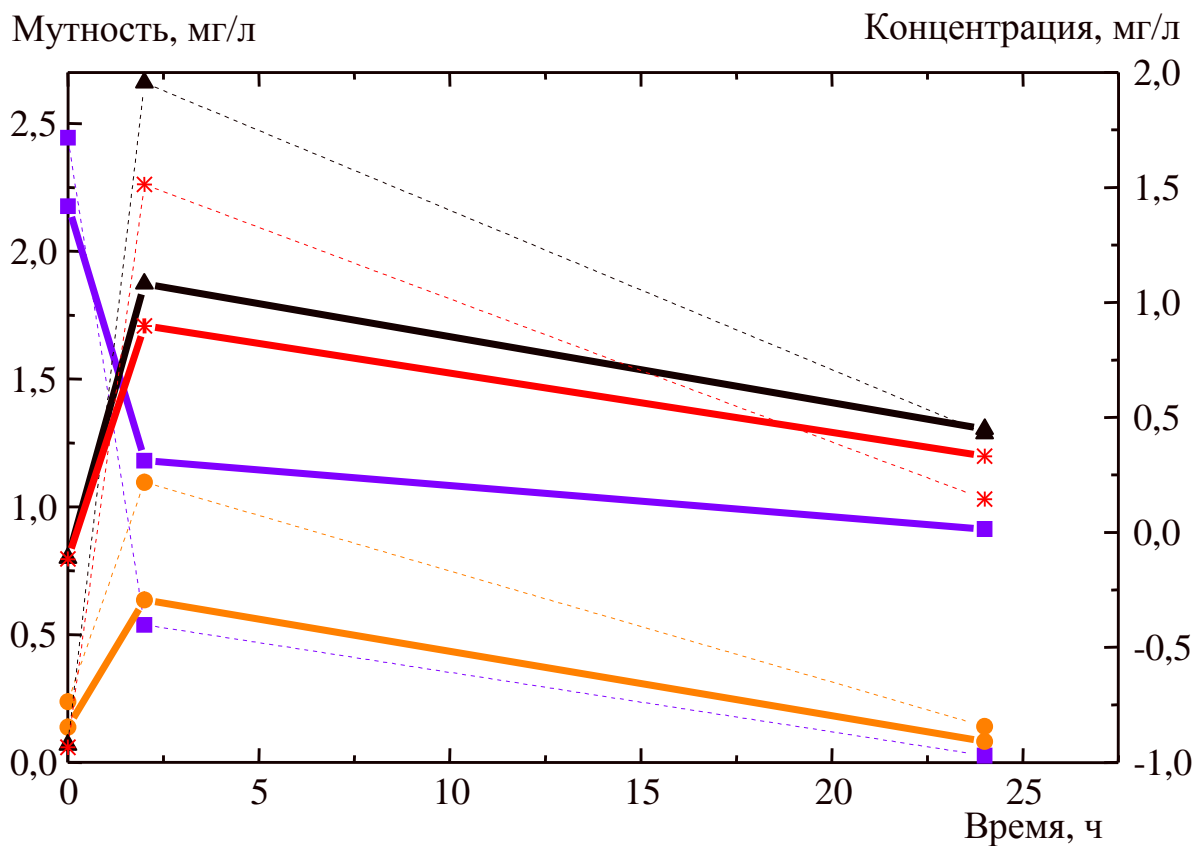


Рисунок 2 – Зависимость концентрации взвешенных частиц (%) и мутности (---) от времени отстаивания для образцов т.4 (3/4), т.5.1 (—), т.6 (•), т.8 (*)

В результате проведенных экспериментов было установлено, что мутность воды с течением времени для всех вариантов понижается, наиболее интенсивное снижение мутности наблюдается для воды реки Миасс в точке 6 и в точке 8, которая характеризуется достаточно широким диапазоном размеров донных отложений, однако и после 24 ч мутность воды остается на уровне концентраций взвешенных частиц 0,5...0,6 мг/л. Для реки Сак-Элга в точке 4 и в точке 5а, в которой донные отложения по гранулометрическому составу подразделяются на две группы: на частицы с размером менее 0,25 мм и на частицы размером более 3,25 мм, в начальный момент времени отстаивания в течении 2 часов отмечается более высокая интенсивность снижения мутности, с течением времени отстаивания интенсивность снижения мутности понижается и концентрация взвешенных веществ после отстаивания до 24 часов концентрация взвешенных веществ составляет 0,01...0,06 мг/л.

Для оценки содержания растворенных веществ была определено содержание сухого остатка в воде после различного времени контакта донных отложений с водой. Данные представлены в таблице 12. Полученные данные свидетельствуют о повышении концентрации растворенных веществ с течением времени отстаивания для воды реки Сак-Элга с 540 мг/л до 580 мг/л и с 990 мг/л до 1290 мг/л, в то время как для образцов воды реки Миасс наблюдается снижение концентрации растворенных веществ с 600...700 мг/л до 500...400 мг/л с увеличением длительности отстаивания.

Представленные данные свидетельствуют о том, что при длительном контакте донных отложений с водой в реки Сак-Элга будут наблюдаться два процесса. С одной стороны, концентрация взвешенных веществ, в том числе и дисперсных частиц размером около 0,25 мм, в воде в процессе отстаивания будет понижаться, с другой стороны увеличение времени контакта донных отложений с водой процесс выщелачивания способствует увеличению концентрации растворенных веществ.

Таблица 12 – Сухой остаток после выщелачивания

Номер точки	Время отстаивания, ч	Содержание сухого остатка, мг/л
3	2	544
	24	583
5а	2	986
	24	1288
6	2	730
	24	502
8	2	606
	24	448

Элементный состав донных отложений и воды после различного времени отстаивания представлен в таблице 13 и в таблице 14.

Таблица 13 – Элементный состав донных отложений в процессе отстаивания

Химический элемент	Содержание химических элементов в массовых процентах			
	Точка 3	Точка 5а	Точка 6	Точка 8
Na	0	0	0,077	0
Mg	1,10	1,37	1,48	1,13
Al	4,06	6,80	7,74	6,48
Si	19,55	27,15	35,68	31,87
P	0,485	0,743	1,00	1,10
S	12,76	1,44	0,415	4,18
Cl	0,0105	0,0078	0	0,0135
K	0,921	5,16	5,23	3,90
Ca	3,59	2,15	11,15	7,96
Ti	2,43	1,41	2,80	2,02
V	0	0,0156	0,0132	0
Cr	0,402	0,113	0,724	0,412
Mn	0,206	0,110	0,532	0,482
Fe	50,75	47,33	32,54	38,28
Ni	0,077	0,327	0,148	0

Химический элемент	Содержание химических элементов в массовых процентах			
	Точка 3	Точка 5а	Точка 6	Точка 8
Cu	0,745	0,925	0,117	0,631
Zn	0,590	0,808	0	1,027
Rb	0	0,049	0	0
Sr	0,148	0,466	0,356	0,260
Ba	2,25	2,55	0	0
Pb	0,481	1,40	0	0
Zr	0	0	0	0,201
As	0	0	0	0,061

Таблица 14 – Элементный состав воды после контакта с донными отложениями

Химический элемент	Время отстаивания, ч							
	2	24	2	24	2	24	2	24
	Содержание химических элементов в массовых процентах							
	Точка 3		Точка 5а		Точка 6		Точка 8	
Na	1,67	1,54	1,55	1,66	2,08	4,28	3,82	4,06
Mg	5,07	5,82	4,74	4,95	4,39	6,88	5,94	6,27
Al	1,11	0,65	0,22	0	6,11	2,70	2,66	1,49
Si	3,43	2,24	1,62	1,75	13,80	7,60	7,43	4,71
P	0	0	0	0	0	0	0,075	0
S	13,69	13,61	16,30	17,29	1,54	4,61	3,48	3,93
Cl	0,775	0,875	1,05	0,975	1,38	2,93	2,70	2,79
K	0,585	0,575	0,910	1,08	1,54	1,06	1,15	0,935
Ca	9,06	8,21	4,59	4,04	4,14	6,25	7,24	11,04
Ti	0	0	0	0	0,180	0	0	0
Mn	0,335	0,415	0,345	0,190	0,135	0,430	0,240	0,295
Fe	1,76	1,31	12,13	12,72	6,23	2,56	5,10	3,01
Cu	0,440	0,415	0,150	0	0,205	0	0,225	0,310
Zn	0,755	0,690	0	0,170	0	0	0	0
La	1,55	0	0	0	0	0	0	0

Значительных изменений в концентрации основных элементов в донных отложениях для реки Сак-Элга в точках 3 и 5а не наблюдается, в донных отложениях реки Миасс в точка 6 и 8 отмечается увеличение содержания таких элементов, как кальций, кремний, медь, в то же время концентрация железа и серы несколько уменьшается. Полученные данные для реки Сак-Элги свидетельствуют о том, что протекающие процессы выщелачивания для вод, находящихся в состоянии покоя (например, водохранилище, в котором отсутствуют придонные и ветровые движения воды или они незначительны) приходят в состояние динамического равновесия, при котором концентрация растворенных веществ может находиться на определенном уровне в зависимости от таких величин, как состав донных отложений, рН, морфологии, дисперсности донных отложений.

В воде реки Миасс отмечено незначительное изменение концентрации железа, меди, серы с увеличением времени отстаивания, концентрация растворенных веществ в данном случае практически в 2 раза, чем в воде реки Миасс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые экспериментальные исследования показали, что в донных отложениях, расположенных на территории водосбора реки Сак-Элга, находится большое количество разнообразных загрязнений, большая часть которых представляют собой тяжёлые металлы. Следует отметить, что многие тяжёлые металлы находятся в незначительных количествах в труднорастворимой форме и при контакте с водой реки Сак-Элга или с паводковыми подами не переходят совсем или переходят в незначительных количествах в водную фазу.

Высокое содержание железа в донных отложениях наблюдается для всех контрольных точек, как в реке Сак-Элга, так и в реке Миасс в точках проботбора до и после впадения реки Сак-Элга. Исключение составляет точка, расположенная на реке Сак-Элга до Богородского пруда. Наиболее низкое содержание меди в донных отложениях отмечается в этой же точке. На остальных контрольных точках концентрация меди в донных отложениях находится в пределах 0,5...0,4 % масс. Практически во всех контрольных точках в донных отложениях отмечается наличие марганца, цинка, титана и свинца.

Установлено, что донные отложения в реке Миасс и в устье реки Сак-Элга по дисперсному составу отражают характер территорий расположения контрольных точек на водных объектах. Дисперсный состав донных отложений в исходном состоянии преимущественно представлен двумя группами – мелкодисперсные частицы (0,25 мм и менее) 25...30 % и частицы размером более 3,2 мм 15...30 %. Исключение составляет дисперсный состав донных отложений реки Миасс в точке 7, где около 90 % частиц представлено достаточно широким диапазоном размеров от 0,3 мм до 1,0 мм.

При длительном контакте донных отложений с водой реки Сак-Элга будут наблюдаться два процесса. С одной стороны, концентрация взвешенных веществ, в том числе и дисперсных частиц размером около 0,25 мм, в воде в процессе отстаивания будет понижаться, а особенно интенсивно в начальный момент времени отстаивания в течении 2 часов, с другой стороны увеличение времени

контакта донных отложений с водой процесс выщелачивания способствует увеличению концентрации растворенных веществ. При длительном контакте воды с донными отложениями, особенно в отсутствие взмучивания, происходит образование оксигидроксидов тяжёлых металлов, выпадение их в осадок и адсорбция на них ряда других примесей, что в итоге снижает их содержание в воде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ульрих Д.В. Влияние отходов обогатительной фабрики на водные объекты Челябинской области / Д.В. Ульрих, М.Н. Брюхов, С.С. Тимофеева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №4. – С. 139-142.
2. РД 52.24.609-2013. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. – СПб.: ИПК Ренова, 2012. – 29 с.
3. Курочкина В.А. Формирование и экологические свойства русловых отложений в водотоках на урбанизированных территориях: автореферат дис. ... канд. техн. наук / В.А. Курочкина. – М.: Изд-во МГСУ, 2012. – 20 с.
4. Великанов Н.Л. Осаждение частиц взвесей в воде / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, Л.В. Примак // Механизация строительства, – 2013. – № 7. – С. 44-50.
5. СТО 52.08.31-2012. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. – СПб.: ИПК Ренова, 2012. – 134 с.
6. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных. – М.: Изд-во Стандартов, 2010. – 12 с.
7. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Изд-во Стандартов, 2002. – 10 с.
8. Сборник методик выполнения измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест ВА». – М: Эконикс-Эксперт, 2013. – 61 с.
9. ГОСТ 31866-2012. Вода питьевая. Определение содержания элементов методом инверсионной вольтамперометрии. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – с. 26.
10. ПНД Ф 14.1:2:4.157-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов,

сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель». – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 23 с.

11. ПНД Ф 14.1:2:4.50-96. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 20 с.

12. ПНД Ф 14.1:2:3.100-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений химического потребления кислорода в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 21 с.

13. ПНД Ф 14.1:2:4.154-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых и природных вод титриметрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 15 с.

14. ПНД Ф 14.1:2:4.261-10. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатка в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 15 с.

15. ПНД Ф 14.1:2:3.110-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации взвешенных веществ в пробах природных и сточных вод гравиметрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 21 с.

16. ГОСТ 33850-2016. Почвы. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 15 с.

17. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Методические рекомендации по применению методики выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 17 с.

18. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 22 с.

19. Байков В.Н. Речная гидравлика и свойства русловых отложений на урбанизированных территориях / В.Н. Байков, В.А. Курочкина, Д.В. Писарев // Вестник МГСУ. – 2011. – №2. – С. 221-228.

20. Алешин В.С. Теоретические и экспериментальные предпосылки процесса осаждения взвеси в низкотемпературной воде Эшкаконского водохранилища / В.С. Алешин // Науковедение. – 2013.– №3. – С. 145-152.

23. Промахова Е.В. Изменчивость мутности речных вод в разные фазы водного режима: автореферат дис. ... канд. геогр. наук / Е.В. Промахова. – М.: Изд-во МГУ, 2016. – 26 с.

24. Алексеевский Н.И. Мониторинг техногенных изменений мутности речных вод и их гидроэкологический анализ / Н.И. Алексеевский, Е.В. Промахова, А.О. Романченко // Вестник МГСУ. – 2015. – №5. – С. 216-222.