

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование  
Отделение школы (НОЦ) Отделение геологии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследования повышения эколого-технологической эффективности водопользования на территории Обь-Томского междуречья</b>

УДК 628.169.7:546.72 (571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ61	Карманова Анна Викторовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор Отделения геологии	Попов В.К.	Д.Г.-М.Н., профессор		

Научный консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения геологии	Пасечник Е.Ю.	К.Г.-М.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Макашева Ю.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Щеголихина Ю.В.	к.ф.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор Отделения геологии	Савичев О.Г.	Д.Г.Н., профессор		

Томск – 2018 г.

## Реферат

*Выпускная квалификационная работа 119 с., 34 рис., 28 табл., 59 источников, 2 прил.*

Ключевые слова: Обь-Томское междуречье, подземные воды, железосодержащие осадки, технология водоподготовки, аэрация воды, фильтрующий материал.

Объектом исследования являются железосодержащие осадки, которые образуются в большом количестве в процессе водоподготовки на Томском подземном водозаборе.

Целью исследования является изучение технологии водоподготовки на Томском подземном водозаборе и ее влияние на химический состав железосодержащих осадков.

В процессе исследований были отобраны пробы подземных вод и пробы железосодержащих осадков на разных стадиях водоподготовки. Исследования проводились в аккредитованных лабораториях НИ ТПУ.

В результате исследований выявлена взаимосвязь состава железосодержащего осадка с составом загрузки фильтров, а также разработаны рекомендации по утилизации вторичного минерального сырья.

Область применения: гидрогеология, геоэкология и гидрогеохимия.

Экономическая эффективность/значимость работы: в процессе водоподготовки, на Томском подземном водозаборе образуется большое количество железосодержащего осадка, который является невостребованным вторичным минеральным сырьем, отсутствие эффективных методик их утилизации представляет собой серьезную экологическую проблему. Прикладные исследования железосодержащих осадков сводятся к поиску и обоснованию применения данного сырья в безотходных технологиях.

## Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Состояние изученности проблемы исследований на территории Обь-Томского междуречья .....	9
Глава 2. Природные условия Обь-Томского междуречья .....	11
2.1 Административное и географическое положение.....	11
2.2 Рельеф.....	11
2.3 Климатическая справка территории .....	12
2.3.1 Радиационной режим.....	13
2.3.2 Температура воздуха .....	13
2.3.3 Влажность воздуха.....	14
2.3.4 Ветровой режим .....	15
2.3.5 Температура поверхности почвы .....	17
2.3.6 Атмосферные осадки.....	17
2.4 Почвенно-растительный покров.....	18
2.5 Гидрологические условия .....	19
2.6 Особенности структурно-тектонического и геологического строения района.....	21
2.7 Гидрогеологические условия территории .....	22
Глава 3. Оценка эффективности водохозяйственных и водоохраных мероприятий на территории Обь – Томского междуречья.....	24
Глава 4. Технология водоподготовки на сооружениях Томского подземного водозабора.....	27
4.1 Аэрация воды.....	28
4.2 Метод обезжелезивания воды.....	29
4.3 Станция обезжелезивания.....	29

4.3.1 Характеристики фильтрующего материала станции обезжелезивания	30
4.4 Метод обеззараживания воды.....	34
Глава 5. Исследования повышения эколого- технологической эффективности водопользования на территории Обь-Томского междуречья.....	36
5.1 Влажность железосодержащих осадков .....	36
5.2 Химический состав подземной воды на разной стадии водоподготовки ..	37
5.3 Анализ распределения концентраций железа в пробах воды из эксплуатационных скважин Томского подземного водозабора .....	41
5.5 Результаты рентгеновской дифрактометрии железосодержащих осадков Томского подземного водозабора .....	54
Глава 6. Рекомендации по утилизации железосодержащих осадков .....	57
Заключение .....	59
Приложение А .....	60
Приложение Б.....	61

## Введение

**Актуальность исследования.** Одной из главных проблем нашего времени является проблема чистой питьевой воды. Сегодня от недостатка питьевой воды или ее низкого качества постоянно страдает 1,5 млрд. человек. После загрязнения рек для человека остался единственный источник водоснабжения – пресные подземные воды, но и они подвергаются воздействию деятельности человека. Экологическая ситуация на территории ОТМ в последние годы становится все более напряженной из-за сильного антропогенного воздействия. Причина заключается в том, что на данной территории столкнулись интересы многих водопользователей. Самые крупные из них: «Сибирский химический комбинат», водоканал города Томска, Северский водоканал и население.

Основным источником водоснабжения на территории г. Томска являются подземные воды палеогеновых отложений. Данное месторождение было открыто в междуречье реки Томи и Оби Н.М. Рассказовым и П.А. Удодовым в 1963 г. Через 10 лет г. Томск полностью перешел на подземное водоснабжение и в настоящее время насчитывает около 198 скважин, общей протяженностью водозаборных линий более 60 км. Существует два мнения относительно основного питания подземных вод на территории ОТМ. Первое, гласит о том, что питание происходит на водоразделе ОТМ. А второе, склоняется к тому, что питание подземных вод осуществляется за счет притока пресных вод со стороны палеозойского обрамления Томь - Колыванской складчатой зоны. А также за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока поверхностных вод р. Оби и р. Томи.

Подземные воды г. Томска содержат большое количество железа, которое связано, во-первых, с его высоким кларком в горных породах земной коры. Во-вторых, с химическими особенностями этого элемента, в частности его переменной валентностью. В-третьих, в Томской области располагается одно из крупнейших проявлений железных руд в России и мире – Бакcharское, находится на территории Бакcharского района Томской области в междуречье рек

Андарма и Икса (притоки реки Чая). Бакчарское месторождение является наиболее исследованной частью Западно-Сибирского железорудного бассейна.

Основная проблема в процессе водоподготовки на ТПВ связана с образованием большого количества железосодержащего осадка, который до 2011 г. сбрасывался в р.Кисловка. В настоящее время осадок складировать на иловые поля, а затем его используют для отсыпки полигона твердых бытовых отходов, и обочин дорог на территории ОТМ.

Актуальностью данной работы является изучение механизма формирования железосодержащих осадков на разной стадии водоподготовки, которые влияют на состояние технологического оборудования ТПВ.

Объектом исследования являются железосодержащие осадки, которые образуются в большом количестве в процессе водоподготовки на ТПВ.

Целью исследования является изучение технологии водоподготовки на ТПВ и ее влияние на химический состав железосодержащих осадков.

Основными задачами данной работы являются:

1. Оценить эффективность водохозяйственных и водоохраных мероприятий на территории ОТМ;
2. Выявить особенности химического состава подземных вод на территории ОТМ;
3. Изучить технологию водоподготовки на сооружениях ТПВ;
4. Проанализировать содержания железа в отдельных эксплуатационных скважинах ТПВ;
5. Проанализировать химический состав подземной воды и вещественный состав железосодержащих осадков на разной стадии водоподготовки;
6. Проанализировать существующие методы утилизации железосодержащих осадков и выявить наиболее рациональные пути его использования в безотходных технологиях

Научная новизна работы заключается в исследовании химического состава подземных вод и вещественного состава железосодержащих осадков, а

также разработка рекомендаций по утилизации вторичного минерального сырья на основании полученных данных.

#### **Основные защищаемые положения:**

1. Технология эффективной очистки подземных вод определяется с учетом особенностей ее химического состава, который существенно отличается на разных стадиях водоподготовки.
2. Железосодержащие осадки, образующиеся в процессе водоподготовки на ТПВ, кроме вторичных минералов, формирующихся из подземных вод, включает элементы загрузки фильтров.
3. В составе железосодержащих осадков находится разнообразное количество химических элементов, что позволяет расширить области их применения в безотходных технологиях.

#### **Практическая значимость работы**

Данная работа представляет интерес, во-первых, для ООО «Томскводоканал», а во-вторых, для предприятий, которые могут найти рациональное и коммерчески выгодное применение железосодержащим осадкам. Поскольку отсутствие эффективных методик их утилизации ведет к экологической катастрофе.

#### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы докладывались на всероссийских и международных конференциях различного уровня:

1. XX, XXI, XXII Международный научный симпозиум студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2016, 2017 и 2018 г.);
2. Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса (Санкт-Петербург, 2018 г.);
3. Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВУЗов и научных академических институтов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку» (Томск, 2017 г.);

4. Международный конкурс научно-исследовательских проектов молодых ученых и студентов «Eurasia Green» (Екатеринбург, 2017 г.);
5. Международный конкур научно-исследовательских проектов молодых ученых и студентов «Экология воды» (Екатеринбург, 2017 г.);
6. XXI Международная экологическая студенческая конференция «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск, 2016 г.).

Также, научная работа была отмечена 5 дипломами на международных конференциях, 3 дипломами на Российских конференциях и 5 сертификатами за участие на международных симпозиумах и всероссийских научных конференциях.

Автор выражает глубочайшую благодарность научным руководителям профессору д.г.-м.н. В.К. Попову и к.г.-м.н. Е.Ю. Пасечник, а также профессору д.г.н. О.Г. Савичеву, к.г.-м.н. Б.Р. Соктоеву, к.г.-м.н. А.А. Хващевской и сотрудникам НОЦ «Вода» ИШПР ТПУ.

## Глава 1. Состояние изученности проблемы исследований на территории Обь-Томского междуречья

Экологическая ситуация на территории ОТМ в последние годы становится все более напряженной из-за сильного антропогенного воздействия. В монографии Попова В.К., Коробкина В.А., Рогова Г.М., Лукашевич О.Д. и др. [29] изложены результаты геоэкологических исследований крупного месторождения подземных вод, расположенного на территории ОТМ. Рассмотрены гидрогеологические, геологические и инженерно-геологические условия территории. Под влиянием производственной деятельности на территории Обь-Томского междуречья сделана оценка изменений гидрогеологических условий. В работе также отражены расчеты, показывающие степень взаимодействия между пластовыми водами. Выявлены основные факторы, определяющие химический состав вод палеогенового комплекса. На большинстве станций обезжелезивания образуется огромное количество частично обезвоженного и недостаточно стабилизированного осадка. Он является практически невостребованным вторичным минеральным сырьем, но отсутствие положительных методик их утилизации представляет собой экологическую проблему.

С 1992-1998 г. под руководством Лисецкого В.Н., Брюханцева В.Н., Андрейченко А.А. [20], а также при участии специалистов Сибирского физико-технического института, Сибирского химического комбината, Томского университета, НИИ биологии и биофизики, НПО «Вирион», НПО «Тасма», были исследованы различные образцы железосодержащего осадка, взятых со стенок аэратора и со стенок скорых фильтров, причем с различной глубины загрузки скорых фильтров. Для изучения использовались как традиционные наборы физико – химических методов: атомно-эмиссионный, пламенно-фотометрический, ионно-хроматографический, химический анализ, РФА, магнитохимические измерения, дериватография, метод БЭТ, так и редко применяемые для подобных исследований методы: измерение  $\zeta$ - потенциала (дзета потенциала), микробиологические исследования на наличие анаэробных

бактерий, использование электронной микроскопии высокого разрешения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что общее содержание железа изменяется в зависимости от сезона года от 30,3 % до 36,9 %. По данным качественного эмиссионного спектрального анализа, осадок содержит более 20 элементов таблицы Д.И. Менделеева: Fe, Ca, Sr, Mg, Cu, Si, B, Al, Sn, K, Ag, Ba, Cr, Zr, Ti, Pb, Mn, Na, Lu, Eu. Основу осадка составляет немагнитная фаза  $\alpha$ -оксигидроксида железа – гетит ( $\alpha$ -FeOOH) кроме того, он содержит большое количество не идентифицированной аморфной фазы [20].

Результаты многочисленных экспериментальных и теоретических исследований Покровского Д.С., Дутовой Е.М., Рогова Г.М., Вологдиной И.В., Тайлашева А.С и Лычагина Д.В. [27] показали преобладание в химическом составе железосодержащих осадков окислов железа и алюминия (более 37,58 и 21,63 % соответственно). Также приведены результаты физико-химического анализа минералообразующей способности подземных вод и результаты комплексных исследований морфологии, микроструктур, вещественного и минералогического состава новообразований, формирующихся на технологическом оборудовании водозаборов. Показаны основные направления утилизации и использования минеральных новообразований и перспективы их дальнейшего исследования.

В работе Любарского В.М. [23] рассмотрены условия и механизм образования осадков, а также их состав, структура и свойства, имеющие широкий диапазон колебаний. Приведены результаты исследований различных приемов обработки осадков. Описаны конструкции установок, рекомендуемых для уплотнения, обезвоживания и подготовки осадка. Дана методика расчета производительности и других параметров этих установок.

Более детально Лотовым В.А., Лукашевич О.Д. и Усовой И.Т. [21] представлены результаты использования железосодержащего осадка в получении сорбента для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и в получении железооксидных пигментов. Установлено, что при прокаливании осадка получают пигменты кирпичного-красного и коричневого цвета.

## **Глава 2. Природные условия Обь-Томского междуречья**

Климат, рельеф, тип горной породы являются ведущими факторами, определяющими направленность выветривания горных пород и состав воды. Различное сочетание этих факторов и процессов в конкретных условиях определяют тот или иной состав и степень минерализации воды. Причем, на определенном этапе формирования химического состава вод, те или иные факторы выступают ведущими [11].

### **2.1 Административное и географическое положение**

Исследуемая территория располагается в пределах ОТМ и в административном отношении входит в состав Томского, Шегарского и Кожевниковского районов Томской области. В границах района исследований расположены гг. Томск, Северск и ряд малых населенных пунктов с общим количеством жителей более 650 тыс. человек.

Основными транспортными магистралями являются автомобильные дороги с асфальтовым покрытием Томск – Победа – Колпашево, Томск – Моряковка, Томск – Юрга. Существует много грунтовых проселочных дорог.

На территории междуречья расположен один из крупнейших в России подземный водозабор, снабжающий питьевой водой г. Томск. На правом берегу р. Томи находятся два крупных площадных водозабора подземных вод г. Северска. Кроме этого, в населенных пунктах междуречья имеется множество небольших водозаборов и одиночных эксплуатационных скважин [24].

### **2.2 Рельеф**

Согласно физико-географическому районированию территории бывшего СССР, район исследования приурочен к лесостепной зоне бассейна р. Томи, большая часть которой относится к Кузнецкой котловине и Колывань-Томской складчатой зоне, являющимся, наряду с Кузнецким Алатау и Горной Шорией, орографическими компонентами Саяно-Алтайской горной страны. Северо-западный участок лесостепной зоны, соответствующий Обь-Томскому междуречью, относится к Западно-Сибирской равнине [10].

Правобережная северная часть бассейна р. Томи, расположена в зоне погружения структур Кузнецкого Алатау. Этот район представляет собой нижне- и верхнечетвертичную пологонаклонную, сильно расчлененную логами и балками равнину, сложенную в верхней части разреза суглинками, глинами, галечниками, песками палеогенового и неоген-четвертичного возраста.

Левобережная северная часть бассейна Томи заметно отличается по рельефу от правобережья и представляет собой нижне- и среднечетвертичную, плиоцен-нижнечетвертичную плоскую озерно-аккумулятивную равнину, размытую ложбинами стока с относительно неглубоким залеганием пород фундамента на юге и резким погружением их в северном направлении. Поверхность водораздела имеет общий уклон с юга на север. На данном участке формируется сток левобережных малых притоков Томи в ее нижнем течении – рр. Порос, Кисловка, Еловка, Жуковка, Черная, Ум. Максимальные отметки рельефа соответствуют юго-западным участкам междуречья, где достигают значений 182 м (с. Киреевское). Минимальные отметки поверхности в поймах рек Томи и Оби составляют 65–75 м.

### **2.3 Климатическая справка территории**

Климат рассматриваемого района резко континентальный, с тёплым летом и холодной зимой, равномерным увлажнением, довольно резким изменением элементов погоды в сравнительно короткие периоды времени, зависящим от сложной циркуляции воздушных масс над Западно-Сибирской низменностью. Для данной территории характерны резкие перепады температуры воздуха в течение суток, особенно весной и осенью [7]. Для характеристики климата использованы материалы наблюдений по метеостанции г. Томска. Данные наблюдений за многолетний период по метеостанции приведены в «Научно-прикладном справочнике по климату СССР» 1993 г. и СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

### **2.3.1 Радиационной режим**

Количество солнечной радиации, приходящей на территорию Томска, обусловлено его нахождением примерно на 56° с. ш. Продолжительность солнечного сияния зависит также от режима облачности. В среднем за год в Томске солнце светит в течение 1733 часов, это около 40% возможной продолжительности солнечного сияния. Наибольшая среднемесячная продолжительность солнечного сияния наблюдается в летние месяцы с максимумом в июне-июле – 276-272 часа, а наименьшая в декабре – 21 час. Продолжительность дня и высота солнца над горизонтом обуславливают годовое распространение суммарной солнечной радиации. Прямая солнечная радиация при безоблачном небе составляет 1 кал/см<sup>2</sup>мин. и более, и может отмечаться в Томске в период с февраля по ноябрь, причем с марта по сентябрь – в течение 6 часов и более. Всего за три летних месяцев на территорию Томска поступает 44% всей суммарной радиации, а с ноября по февраль – всего 9%. Солнечная радиация непосредственно связана с углом наклона солнечных лучей и зависит от географической широты и продолжительности солнечного сияния [10].

### **2.3.2 Температура воздуха**

Температурно-влажностный режим воздуха является одним из важных компонентов микроклимата. В теплый период года возможны поздние весенние и ранние осенние заморозки. Абсолютный максимум температуры воздуха за многолетний период 35°C. Абсолютный минимум температуры воздуха -55°C. Средняя многолетняя годовая температура воздуха по м/ст Томск равна -0,5°C [53]. Характеристики температуры воздуха по метеостанции приведены в таблице 1 и рисунок 1 [53].

Таблица 1 – Средняя месячная и годовая температуры воздуха

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Томск	-	-	-								-	-	
	17,9	15,7	7,7	1,2	9,7	15,9	18,7	15,3	9	1,3	8,5	15,4	0,5

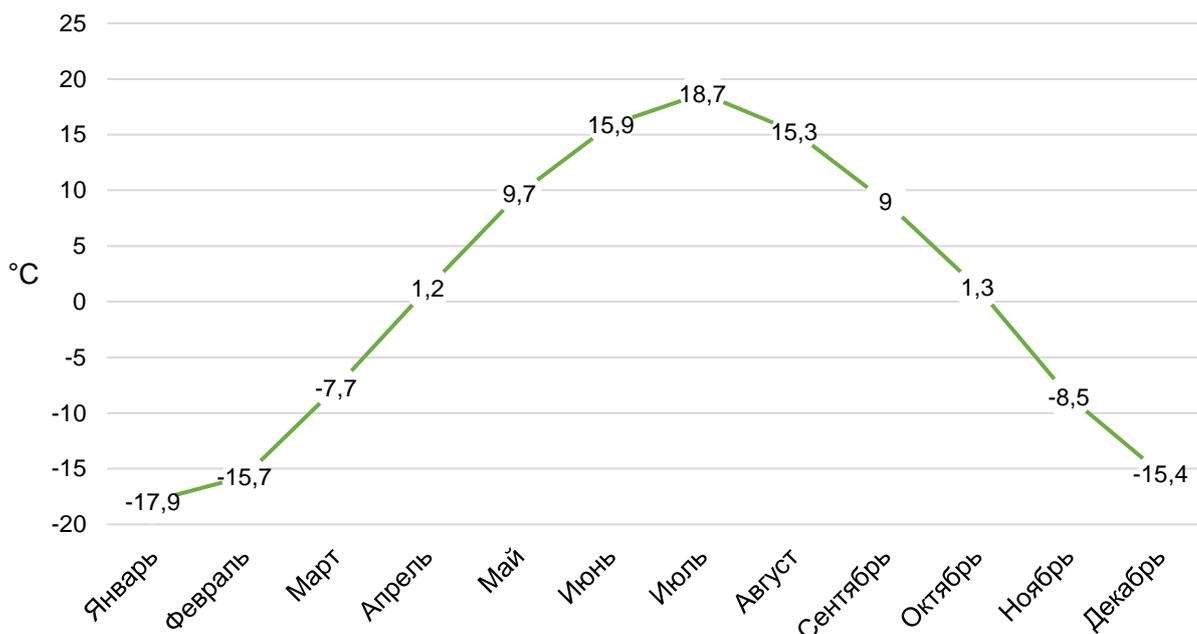


Рисунок 1 – Средняя месячная температура воздуха

### 2.3.3 Влажность воздуха

Влажность воздуха играет существенную роль в формировании микроклимата. Воздух Томска характеризуется по абсолютной влажности, в течение всего года как сухой за исключением июля, а по относительной влажности: с апреля по июнь – умеренно сухой, с июля по октябрь и февраль-март – умеренно влажный, а с ноября по январь – влажный [10]. Среднее месячное и годовое парциальное давление водяного пара представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Среднее месячное и годовое парциальное давление водяного пара, гПа

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Томск	1,4	1,5	2,4	4,4	6,9	11,8	15,4	13,3	9	5,2	2,8	1,7	6,3

### 2.3.4 Ветровой режим

На рассматриваемой территории в течение года преобладают ветры южного и юго-западного направлений (таблица 4) [10]. Среднегодовая скорость ветра равна 3,6 м/с (таблица 3, рисунок 2).

Таблица 3 – Скорость ветра, м/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
4,2	4,1	4,1	3,6	3,5	2,9	2,5	2,5	3,0	3,9	4,2	4,2	3,6

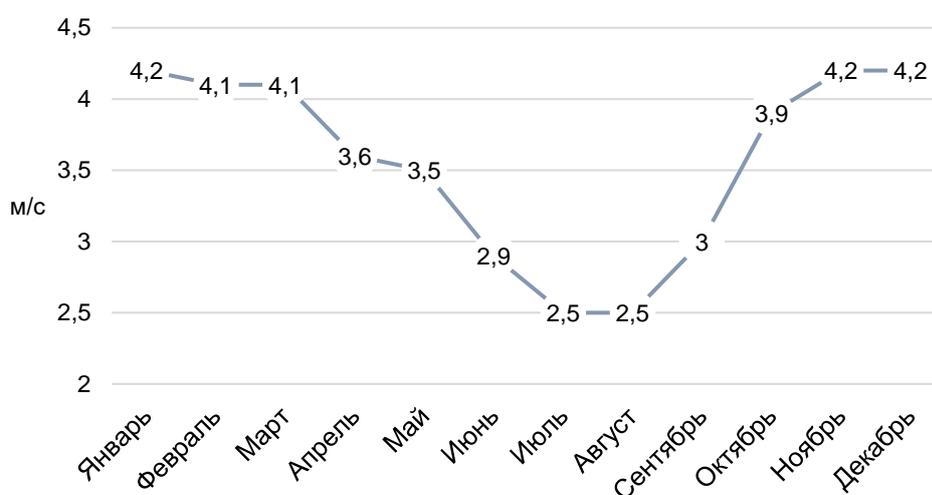


Рисунок 2 – Годовой ход скорости ветра

Розы ветров за характерные месяцы года приведены на рисунках 3-6. Преобладающим направлением ветра для данной станции в зимний период является южное, а в летний – южное, а также северо-восточное. Таким образом, в годовом ходе преобладают южные ветры. В зависимости от сезона повторяемость направления ветра меняется. Зимой штили наблюдаются редко, чем летом [5].

Таблица 4 – Повторяемость направлений ветра и штилей (в процентах)

Сезоны года	Направления, румбы								Штили
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
зима	6	8	9	9	43	18	4	3	10
весна	14	10	9	7	26	14	10	10	7
лето	13	14	15	14	20	9	7	8	15
осень	8	8	10	15	31	15	7	6	15

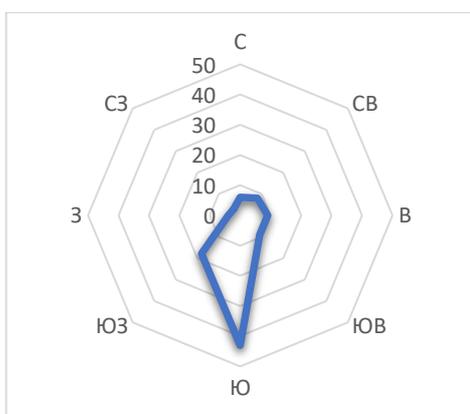


Рисунок 3 – Роза ветров в зимний период



Рисунок 4 – Роза ветров в весенний период

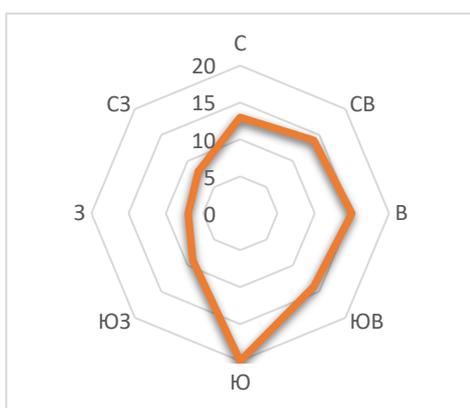


Рисунок 5 – Роза ветров в летний период

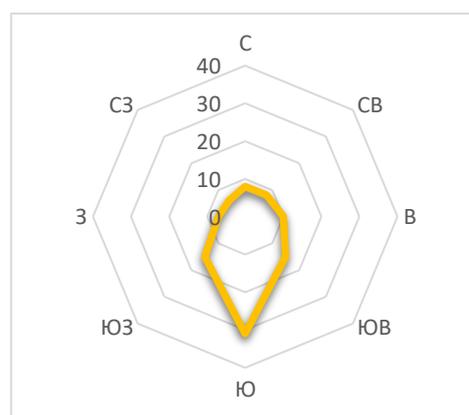


Рисунок 6 – Роза ветров в осенний период

### 2.3.5 Температура поверхности почвы

Температура поверхности почвы с января по февраль не изменяется. С февраля по июль температура резко возрастает от -11 °С до 23 °С, с июля по август температура изменяется незначительно, а с августа по декабрь резко уменьшается с 17 °С до -18 °С. Минимальная температура поверхности почвы наблюдается в январе и составляет -20 °С, максимум в июле и равен 23 °С (таблица 5, рисунок 7) [25].

Таблица 5 – Среднемесячная температура поверхности почвы

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
-20	-20	-11	0	11	20	23	17	10	0	-11	-18	0

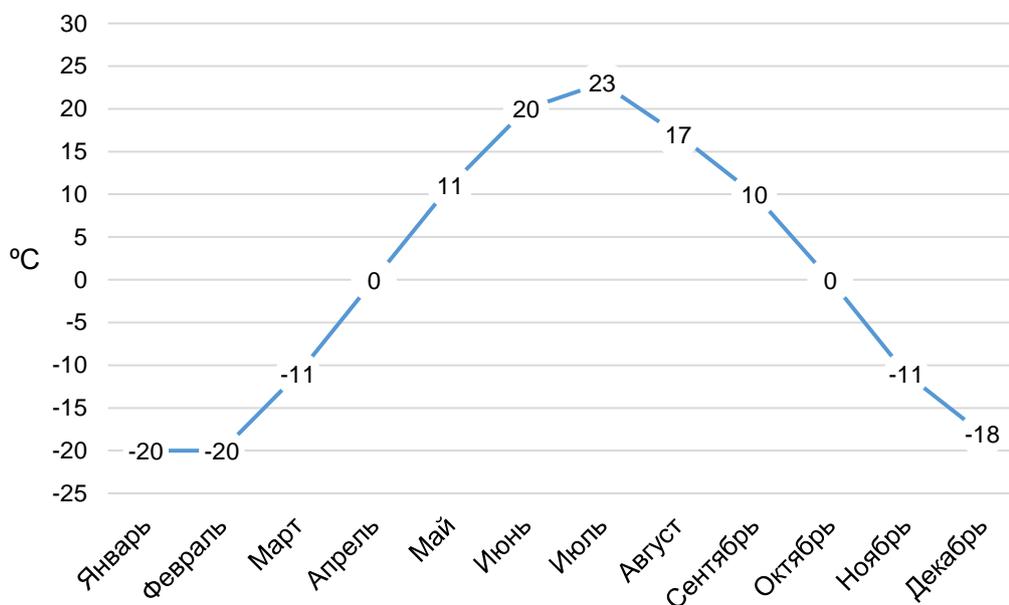


Рисунок 7 – Годовое распределение температуры поверхности почвы

### 2.3.6 Атмосферные осадки

Осадки в течение года выпадают неравномерно. Количество осадков за теплый период (IV-X) равно 377 мм, за холодный период (XI – III) – 171 мм. Среднегодовое количество осадков составляет 591 мм. Суточный максимум осадков равен 76 мм. Среднее количество осадков по месяцам для м/ст Томск приведено на рисунке 8.

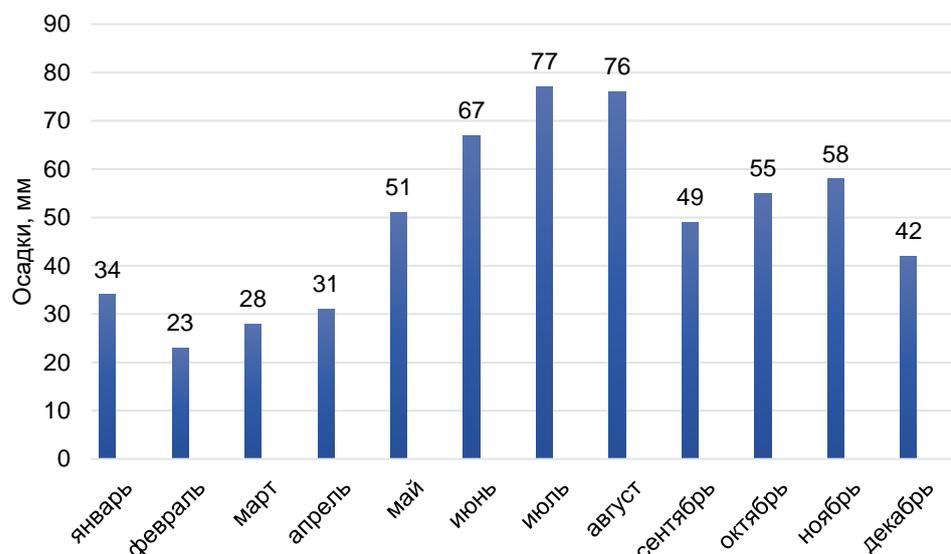


Рисунок 8 – Годовой ход осадков, мм

## 2.4 Почвенно-растительный покров

Город Томск и его окрестности входят в состав подтаежной подзоны, которая является переходной от темнохвойной тайги и сосновых лесов к березовым и к лесным лугам. Наиболее распространена береза бородавчатая. Широко используются в озеленении: береза белая, тополь бальзамический и черный; клен ясенелистный; ель сибирская; сосна лесная и сибирская; вяз гладкий и шершавый; ива белая, серая и козья; таволга иволистная; рябина сибирская; черемуха обыкновенная, яблоня ягодная; рябинник рябинолистный; боярышник кроваво-красный; ирга ольхолистная; сирень венгерская и обыкновенная; жимолость съедобная, лесная и татарская; калина обыкновенная; смородина черная; роза майская и морщинистая и т.д [10].

Почвы ОТМ понижения, заполнившиеся отложениями легкого гранулометрического состава. В восточной части ложбин широко распространены эоловые пески и дюнно-грядовые формы рельефа. Рыхлые пески здесь образуют дюны и гряды высотой до 10 м. Между грядами расположены заболоченные западины. Эоловые пески характеризуются слабой водоудерживающей и водоподъемной способностью, провальной фильтрацией. Поверхность ложбин преимущественно плоско-волнистая в сочетании с гривноложбинными участками и значительными (до 8–14 м) перепадами высот,

что указывает на исходно глубокую расчлененность ложбин стока аллювиально-эрозионными процессами. Террасовый комплекс Оби и Томи представлен фрагментами первой и второй надпойменных террас, сложенных разнообразными, но преимущественно тяжелого гранулометрического состава породами [28].

## 2.5 Гидрологические условия

Река Томь является правым притоком р. Оби, которая берет начала на западном склоне Абаканского хребта. Общая длина реки 839 км, площадь водосбора составляет 61240 км<sup>2</sup>. По характеру гидрологического режима в пределах Томской области, река приближается к рекам горного типа. Питание реки смешанное – за счет дождевых, талых и подземных вод [32]. По уровенному режиму р. Томь относится к алтайскому типу, характеризуется сравнительно высоким, имеющим гребенчатый вид, весенним половодьем и низкой летней меженью, прерываемой резкими и значительными по высоте дождевыми паводками, и низкой, устойчивой зимней меженью. Средний многолетний расход р. Томи у г. Томска равен 1040 м<sup>3</sup>/с. Модуль стока 18 л/с\*км<sup>2</sup>, слой стока равен 567 мм [7].

Наиболее крупными левобережными притоками р. Томи в районе исследований являются рр. Ум, Черная, Кисловка и Порос, образующие вместе со своими притоками (рр. Еловка, Жуковка, Уптала, Куртук) основную часть гидрографической сети Обь-Томского междуречья. Правобережные притоки р. Оби – р. Кумлова, Тага, Оспа, Киреева, Андрава, Чичаг – имеют значительно меньшие площади водосборов и водный сток.

*Река Кисловка* образуется от слияния рек Жуковки и Еловки, впадает в р. Томь на 51 км от устья. Русло реки извилистое, шириной 4-5 м, глубины в межень составляют 0,3-0,6 м на перекатах и до 1,0-1,5 м на плесах. Дно реки, большей частью, песчаное. У п. Тимирязевский р. Кисловка выходит на пойму р. Томь, протекает здесь по системе пойменных озер и впадает в протоку р. Томь – Бурундук. Из протоки Бурундук сток р. Кисловки поступает в р. Томь у с.

Попадейкина. В устье реки в межень наблюдается резкое падение дна в сторону р. Томи с образованием быстротока на участке длиной около 50 м. В месте выхода реки на пойму р. Томи, на правобережье реки расположено озеро Калмацкое. В настоящее время оно обнесено дамбой и образует пруд. Весной насосная станция забирает воду из р. Кисловки и подает воду в водохранилище. Летом вода используется на орошение земель [32].

*Река Порос* начинается у с. Верхнее-Сеченово и впадает в р. Томь в 45 км от устья. Верхний участок реки до устья ручья Уптала является временным водотоком. Сток здесь наблюдается, в основном, в период половодья. Ниже устья ручья Уптала, который впадает с левого берега, р. Порос является уже постоянным водотоком. Ширина реки у с. Рыбалово достигает 2-4 м на перекатах и 6-8 м на плесах. Глубина реки изменяется от 0,10-0,20 м в среднем течении и 0,3-0,7 м в нижнем течении у с. Быково. Русло реки извилистое, дно в верховьях илистое, ниже с. Поросино - песчаное. Один из крупных притоков р. Порос – это ручей Уптала. Этот ручей – временный водоток, сток его зарегулирован каскадом прудов. Ниже устья ручья в р. Порос впадает еще несколько временных водотоков, на которых сооружены пруды [32].

Озера в районе работ распространены достаточно широко. В основном они расположены на пойменных участках рек Оби и Томи. По генетическому типу и положению в рельефе они относятся к первому типу и являются отшнуровавшимися остатками современной гидросети (оз. Калмацкое, Кривое, Таяново). Питание их смешанное и осуществляется за счет снеготалых, дождевых, грунтовых и болотных вод. К этому же типу относятся озера, широко распространенные на поверхности первых надпойменных террас рек Оби и Томи [9].

Для района работ характерно наличие болот, которые по положению в рельефе и условиям их питания делятся на низинные, верховые и переходные. Самыми многочисленными на исследуемой территории являются болота переходного типа. Наиболее крупные из них расположены вдоль реки Черной.

## 2.6 Особенности структурно-тектонического и геологического строения района

В тектоническом отношении район находится в зоне сопряжения погружающегося палеозойского фундамента Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления, сложенного здесь позднегерцинскими структурами Колывань-Томской складчатой зоны, входящей в состав Алтае-Саянской складчатой системы [29]. В пределах Томской и Новосибирской областей Колывань-Томская зона получила название Томского прогиба или Томского синклинория [4].

На ОТМ К.В. Ивановым [13] была выделена обширная, так называемая Жуковская, скульптурная терраса шириной более 40 км в южной части междуречья и до 10 км в северной (г. Северск). Вдоль уступа террасы сформировалась флексурная зона, выполненная меловыми, палеогеновыми и песчано-глинистыми четвертичными отложениями с характерными унаследованными формами залегания слоев и значительной невыдержанностью по мощности и фациальному составу.

В северной части междуречья палеозойский фундамент Западно-Сибирской плиты представлен более древними структурами Колывань-Томской складчатой зоны с глубинными разломами почти широтного простирания и залегает уже на глубинах 500 метров.

В геологическом строении ОТМ участвуют отложения каменноугольной, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. Отложения палеогеновой системы широко развиты в районе города и представлены континентальными фациями, с размывом залегающими на отложениях нижнего карбона и глинах коры выветривания. Из отложений палеогеновой системы в районе города развиты в основном породы олигоцена, относимые к Новомихайловской свите [8].

*Новомихайловская свита (Р<sub>3пт</sub>)* распространены повсеместно в центральной и южной частях Западно-Сибирской плиты. Свита представлена

глинами, алевритами и реже песками. Пески, так же, как и алевриты, обогащены растительным детритом и чешуйками слюды [8].

*Атлымская свита (P<sub>3nt</sub>)* распространена повсеместно на юго-востоке Западно-Сибирской плиты. В пределах Томского района отложения свиты вскрываются на глубине от 45 до 163 м. Отложения залегают с размывом на кремнистой коре выветривания, согласно перекрываются новомихайловской свитой. Свита сложена песками и глинами [8].

*Лагернотомская свита (P<sub>3lt</sub>)* сложена песками, глинами, алевритами. В отложениях часто встречаются линзы и прослойки лигнитов и бурых углей. Свита срезает новомихайловскую свиту и залегают в русловых врезках, размывается и перекрывается четвертичными отложениями. Мощность свиты до 60 метров. Формировались осадки лагернотомской свиты в аллювиальных условиях [8].

## **2.7 Гидрогеологические условия территории**

Гидрогеологические условия территории ОТМ предопределяются особенностями геологического строения. Характеризуемая территория расположена в пределах юго-восточной окраины зоны Западно - Сибирской эпигерцинской платформы, имеющей двухъярусное строение. Структуры Колывань – Томской складчатой зоны, сложенные дислоцированными породами нижнего карбона подстилают осадочные отложения мезозоя-кайнозоя и выходят на дневную поверхность в правобережных обрывах р. Томи.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория расположена в пределах юго-восточной окраины Западно-Сибирского артезианского бассейна. Подземные воды порово-пластовые.

*Подземные воды палеозойского фундамента* распространены в зоне региональной трещиноватости мощностью от 20 - 80 м, структурном элювии и многочисленных зонах дробления. В целом палеозойские породы характеризуются низкими фильтрационными свойствами. Водопроницаемость их невысокая, в пределах 3 - 110 м<sup>2</sup>/сут [17]. Для крупного водоснабжения такие подземные воды практического значения не имеют.

*Водоносный комплекс меловых отложений* объединяет водоносные горизонты сымской, симоновской и покурской свит, песчано-глинистые отложения которых сформировались на погружающихся структурах Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны, унаследовав характерные формы залегания слоев. Водовмещающими породами сымской и симоновской свит являются каолинизированные пески (от пылеватых до мелкозернистых) с низкой водообильностью. Удельные дебиты по скважинам составляют 0,004 - 0,75 л/с, при понижениях уровня на 10 - 23 м [29]. Водоносный комплекс меловых отложений на большей части площади распространения изолирован от палеогенового региональным эоценовым глинистым водоупором, который только на отдельных участках сменяется глинами симоновской свиты.

*Подземные воды палеогенового комплекса* широко распространены на исследуемой территории. Подземные воды этого комплекса являются основным источником централизованного водоснабжения городов Томска и Северска. На юго-востоке проходит граница водоносного комплекса вдоль реки Томи или вблизи выходов палеозойского фундамента на дневную поверхность.

В кровле палеогенового водоносного комплекса залегают разновозрастные глины, суглинки неогенового и четвертичного возраста. Подземные воды палеогенового комплекса имеют сложную гидродинамику. Верхний водоносный горизонт отложений лагернотомской свиты на водоразделе имеет общую пьезометрическую поверхность с водоносным горизонтом верхнеплиоценовых отложений нижнекочковской подсвиты. С увеличением глубины залегания горизонтов происходят потери напоров, и пьезометрическая поверхность водоносного горизонта юрковской свиты на большей части междуречья устанавливается на 6 - 7 м ниже пьезометрической поверхности водоносного горизонта нижнекочковской подсвиты [17]. Наблюдается нисходящий тип фильтрации. Абсолютные отметки пьезометрической поверхности комплекса (юрковской и новомихайловской свит) уменьшаются с юга на север по центральной части водораздела от 124 до 76 м [17], а в долинах рек Томи и Оби они снижаются до 66 м.

*Водоносный горизонт неогеновых отложений* залегает в кровле палеогеновых отложений и является первым от поверхности постоянным водоносным горизонтом, определяющим формирование приходной части баланса подземных вод за счет инфильтрационного питания и для палеогенового водоносного горизонта. Водовмещающими грунтами являются верхнеплейстоценовые гравийно-галечниковые отложения. Мощность их изменяется от водоразделов к склону, где она достигает 30 - 35 м. Фильтрационные свойства гравийно-галечниковых отложений улучшаются от центральной части водораздела к долине реки Томи и древним ложбинам стока. Коэффициенты фильтрации в этом направлении изменяются от 12 до 67 м/сут, а водопроницаемость от 130 до 920 - 1146 м<sup>2</sup>/сут [17], что свидетельствует о больших возможностях восполнения этими водами палеогенового комплекса при его эксплуатации. В долинах рек Оби и Томи, в древних ложбинах стока *распространены четвертичные отложения*, занимающие до 20 % всей площади, воды которых составляют значительную долю в общем балансе подземных вод.

### **Глава 3. Оценка эффективности водохозяйственных и водоохраных мероприятий на территории Обь – Томского междуречья**

Оценка эффективности водохозяйственных и водоохраных мероприятий определяется как отношение социальных, экологических и экономических результатов мероприятий к затратам на их осуществление. При этом возникают как положительные, так и отрицательные последствия. Оценка эффективности

рассматриваем на примере утилизации и использовании железосодержащих осадков, которые образуются при водоподготовке на ТПВ.

ТПВ эксплуатирует одно из крупнейших месторождений России, которое располагается в междуречье р. Оби и р. Томи. До этого времени население г. Томска использовали в качестве питьевых целей р. Томь, но в 60-х годах большими темпами стали развиваться промышленные гиганты: Новокузнецк, Кемерово и Юрга. Постоянные сбросы загрязняющих веществ, в том числе фенолов, приводили к тому, что население города Томска по нескольку дней не могли пользоваться водой из крана.

Территория ОТМ испытывает постоянное техногенное воздействие. Его составляющие являются различные процессы, которые описаны в монографии [30] Попова В.А., Лукашевич О.Д., Коробкин В.А. и др. Особенностью томской подземной воды является высокая концентрация в ней железа. По результатам анализа отдельных скважин содержание железа колеблется от 0,42 мг/дм<sup>3</sup> до 7,33 мг/дм<sup>3</sup>. В смешанной исходной подземной воде количество железа в среднем составляет 2,75 мг/дм<sup>3</sup>. Железо занимает особое место среди природных примесей, содержащих в подземных водах, и роль железа во многих природных геохимических процессах велика. Такие воды с большим содержанием железа имеют неприятный вкус, не пригодны для использования в ряде отраслей промышленного производства.

Развитие на данной территории промышленного производства, транспорта и сельского хозяйства, а также интенсивное жилищное строительство будет приводить к увеличению водопотребления. В результате в процессе водоподготовки будет образовываться все большее количество железосодержащего осадка. Основу осадка составляет гидроксид железа. Причем химический состав осадков зависит от физико-химических свойств исходной воды и технологии водоподготовки.

Утилизация железосодержащих осадков на данный момент происходит путем его захоронения. Данная методика считается неудовлетворительной потому, что осадок в сухом виде характеризуется повышенным пылением и

приводит к деградации природной среды, которая влечет за собой негативные изменения окружающей среды.

Поэтому осадок станции обезжелезивания может быть переработан на химические реактивы. Из основы железосодержащего осадка получают два основных продукта: хлорида железа и смешанный сульфат щелочноземельных и тяжелых металлов. Для получения стекла можно использовать сульфат. А вот использования хлорида железа более многообразно – в радиотехнической промышленности, в коммунальном хозяйстве для очистки сточных вод, на станциях обезжелезивания для повышения эффективности и скорости окисления двухвалентного железа [20]. Еще одно приоритетное направления использования железосодержащего осадка – переработка в качестве сырья в производстве строительных материалов, например, плазменная утилизации осадков (такой метод разрабатывается в ИШЯХ НИ ТПУ). Химический состав железосодержащих осадков зависит от физико-химических свойств исходной воды и технологии водоподготовки.

## Глава 4. Технология водоподготовки на сооружениях Томского подземного водозабора

Водозабор из подземных источников г. Томска введен в эксплуатацию 13 декабря 1973 года. Первая линия водозабора запущена в эксплуатацию 11 декабря 1973 г. и включает себя номера скважин с 1-69. Вторая линия водозабора вводилась в эксплуатацию поэтапно, начиная с декабря 1983 г. с 70-127 скважину. Третья линия водозабора была введена в эксплуатацию в мае-июне 1989 г. с 128-163 скважину. В настоящее время ТПВ насчитывает около 198 скважин, расположенных на трех линиях, общей протяженностью более 60 км. Из них в постоянной работе находятся от 70 до 80 скважин. Максимальная (проектная) подача воды 240 тыс. м<sup>3</sup> воды в сутки, а в среднем 130-140 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

При проектировании подземного водозабора была принята следующая схема очистки воды, представленная на рисунке 9.



Рисунок 9 – Схема подъема и подачи питьевой воды в г. Томск (По данным ОАО «Томскводоканал», 2012 г.

Поступающая на станцию обезжелезивания Томского подземного водозабора артезианская вода (1) попадает в аэраторы (2), где происходит ее упрощенная аэрация и дегазация (удаление растворенных в воде газов). Из

аэраторов вода самотеком поступает на скорые фильтры (3), после чего очищенная вода накапливается в резервуарах чистой воды (4). Из резервуаров вода перекачивается группой агрегатов насосной станции (5) в дополнительные резервуары чистой воды (6), при этом происходит ее обеззараживание гипохлоритом натрия. Повысительными агрегатами насосных станций (7) вода подается в г. Томск (8) (лист 1).

#### **4.1 Аэрация воды**

Наличие кислорода является одним из главных условий при процессах окисления двухвалентного железа в трехвалентное, при этом кислород должен вводиться в обрабатываемую воду непосредственно перед сооружениями для фильтрации воды и в необходимых количествах. Одна из основных задач аэратора максимально обогатить обрабатываемую воду кислородом за счет излива ее с высоты более 0,5 м над уровнем воды. Эта задача удовлетворительно решается в весенний, летний и осенние периоды, когда в помещении аэраторов открываются окна для доступа свежего воздуха, однако в зимний период, когда при закрытых окнах и выполненной не по проекту приточно-вытяжной вентиляции, происходит выделение в помещение аэратора растворенных в воде газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ), условия аэрации резко ухудшаются. На выделение из воды осадка требуется значительно большее количество кислорода.

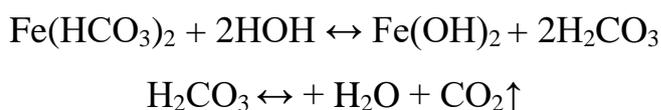
Аэраторная служит для того, чтобы поступающая вода, изливаясь из труб, расположенных над поверхностью избавлялась от растворенного в ней диоксида углерода и одновременно обогащалась кислородом. Для окисления  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  кислородом воздуха на 1 г удаляемого из воды железа нужно вводить в воду 2 л воздуха. Циркуляция воздуха в здании аэраторной обеспечивается приточно-вытяжной вентиляцией трехкратного воздухообмена, с механическим побуждением [12].

Процесс насыщения воды воздухом при ее обезжелезивании на фильтрах вводят таким образом, чтобы в воды не было большого избытка растворенного

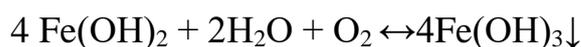
кислорода и не все закисное железо успевало бы окислиться в водяной подушке фильтра [12].

#### **4.2 Метод обезжелезивания воды**

Метод упрощенной аэрации сводится к окислению двухвалентного железа  $Fe^{+2}$  в трехвалентное  $Fe^{+3}$  и осаждение его в виде гидроксида железа (III). Железо содержится в артезианской воде в виде гидрокарбоната образованного слабой кислотой и слабым основанием и гидролизуется по уравнению:



Двуокись углерода ( $CO_2$ ) удаляется дегазацией, поэтому процесс гидролиза доводится до конца. Гидроокись железа (II)  $Fe(OH)_2$  при окислении кислородом воздуха переходит в  $Fe(OH)_3$  по уравнению:



После азраторов частично обезжелезенная вода самотеком поступает на скорые механические фильтры, в фильтрующей загрузке которых и происходит механическое задержание частиц взвеси.

#### **4.3 Станция обезжелезивания**

Станция обезжелезивания состоит из двух блоков скорых фильтров, по 12 скорых фильтров на каждом блоке, всего 24 однопоточных скорых фильтра с центрально расположенным каналом, между 2-мя секциями [1]. В каждом фильтре установлено по три полукруглых стальных распределительных лотках для каждой секции. Движение воды осуществляется сверху вниз. Секция скорого фильтра имеет размеры 6,20 x 9,20 x 4,25 м, с полезной площадью фильтрации от 45,6 до 45,8 м<sup>2</sup>. Фильтры загружены отсевом горелой породы. Объем загруженного фильтрующего материала в одном фильтре составляет приблизительно 73 м<sup>3</sup>. Суммарная площадь фильтрации 24 фильтров равна 1094,4 м<sup>2</sup> [55].

Расчетная скорость фильтрации воды через фильтрующую загрузку скорого фильтра составляет 8-10 м/час. Фильтроцикл скорых фильтров

составляет 24 часа. Промывка осуществляется из двух баков, емкостью по 250 м<sup>3</sup> каждый, установленных на четвертом этаже административного здания. Количество воды на одну промывку составляет порядка 300-400 м<sup>3</sup>. Интенсивность промывки (в среднем)  $W = 16 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ . Общая продолжительность промывки  $t = 10 - 20$  мин [55].

#### ***4.3.1 Характеристики фильтрующего материала станции обезжелезивания***

Фильтрация повсеместно используется в водоснабжении для очистки воды. На скорых фильтрах при фильтровании воды сверху вниз чаще всего происходят одновременно два процесса – задержание части взвешенных веществ в пленке на поверхности фильтрующего слоя и проникание их в толщу фильтра **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Сначала эксплуатация Томского подземного водозабора фильтры были загружены – кварцевым песком. Начиная с 1989 г. – альбитофиром, сейчас в качестве фильтрующего материала применяется только дробленая горелая порода месторождения «Дальние Горы» г. Киселевск Кемеровской области. Химический состав горелой породы представлен на рисунке 10 [56] (лист 2). По гранулометрическому составу горелая порода подразделяется на фракции таблица 6 (лист 2). Химическая стойкость фильтрующих материалов и поддерживающих слоев проверяется при действии на них щелочей, кислот и солей [7].

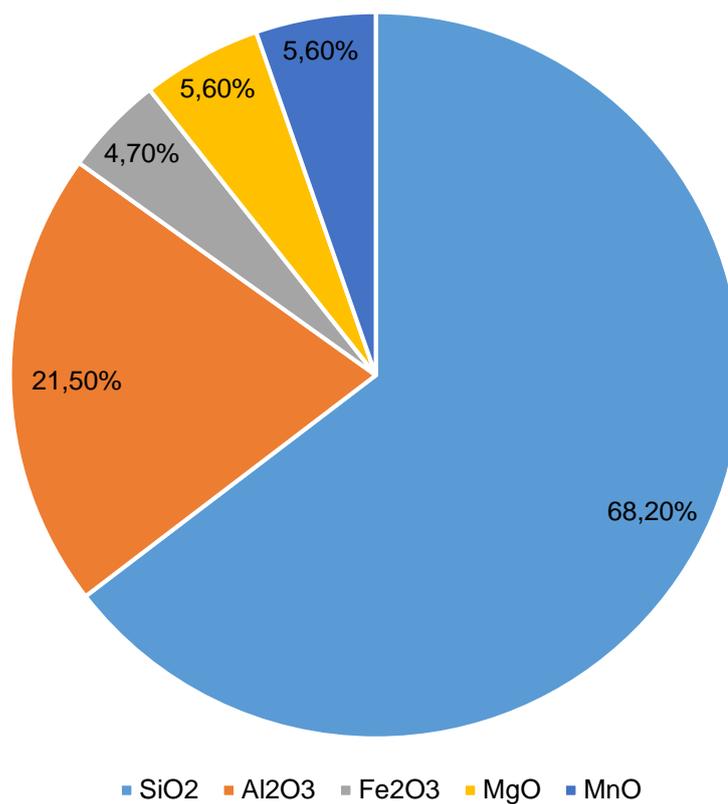


Рисунок 10 – Химический состав горелой породы

Таблица 6 – Гранулометрический состав горелой породы

Фракции, мм	%
0,5	1,2
0,7	1,6
0,8	2,0
1,0	2,0
2,0	5,0
5,0	10,0
10,0	20,0
20,0	40,0

Основные прочностные характеристики и параметры химической стойкости породы представлены в таблице 7 (лист 2).

Таблица 7 – Прочностные характеристики и параметры химической стойкости горелой породы

<b>Прочностные характеристики</b>	
Истираемость, %, не более	0,5
Измельчаемость, %, не более	4,0
Условная механическая прочность, %, не более	1,0
<b>Параметры химической стойкости</b>	
Прирост сухого остатка, мг/л, не более	20
Прирост окисляемости (перманганатной), мг/л, не более	10
Прирост кремнекислоты, мг/л, не более	10

Фильтрующий материал из дробленых пород за счет своих высоких физико-технических характеристик повышает производительность водоподготовительных сооружений на 20–50 % таблица 8 (лист 2).

Таблица 8 – Физико-механические показатели

Коэффициент формы зерна	2,1
Пористость, % макс	60
мин	52
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2500
Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>	1250-1400

При обезжелезивании, даже самые надежные режимы регенерации (например, водовоздушный), не могут гарантировать от роста остаточных загрязнений на поверхности зерна, в результате чего зерно приобретает постепенно форму шарообразной частицы гораздо большего размера. Удельная поверхность таких частиц резко снижается и увеличение производительности станции не наблюдается. Любой фильтрующий материал характеризуется двумя основными технологическими показателями: удельной поверхностью и

пористостью (межзерновой). Первый показатель отражает способность материала задерживать на своей поверхности загрязнения и характеризуется эта способность коэффициентом формы зерна. Вторым показателем служит характеристикой межзернового пространства, где складываются задержанные загрязнения. Безусловным преимуществом обладают материалы имеющие большие показатели поверхности и пористости таблица 9 (лист 2). Механическая прочность загрузки характеризуется процентом измельчаемости и истираемости материала: истираемость фильтрующего материала не должна превышать 0,5%, измельчаемость – 4% [24]. Фильтрующий материал необходимо каждые 10 лет выгружать для ремонта дренажно-распределительной системы.

Таблица 9 – Технологические показатели горелой породы в сравнении с другими фильтрующими материалами

Наименование материала	Показатели			
	Коэффициент формы зерна	Пористость, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность % на - истираемость, - измельчаемость
Кварцевый песок	1,14	42	2600	0,5 (0,5) * 3 (4) *
Альбитофир	1,5	51	2620	0,42 (0,5) 3,3 (4)
Горелая порода	2,1	60	2500	0,1 (0,5) 1 (4)
Керамзит	3,2	60	700	2 (0,5) 0,11 (4)

\*в скобках указаны нормативные величины прочности

Самый распространенный фильтрующий материал – кварцевый песок. Пески с содержанием кремнезема не менее 96% проявляют высокую химическую стойкость и механическую прочность, которые необходимо для фильтрационной водоочистки. Рекомендуются речные пески, как наиболее чистые, т.е. отмытые от глинистых частиц. В последние годы кварцевые пески считаются дефицитными. Альбитофир – это природный материал, состоящий из

порфиоров с полевошпатовыми вкраплениями. В основной массе также много альбитовых, частью плагиоклазовых микролитов [31].

Горелая порода – отходы, образующиеся при добыче каменного угля, состоящие из песчаников, алевролитов, аргиллитов или их смесей, залегающих, в кровле угольных пластов, смешанных с отходами угля, горючих сланцев и серы [31].

Керамзит обладает большими технологическими преимуществами перед другими фильтрующими материалами. Это пористый материал, получаемый вспучиванием легкоплавких глин при быстром их обжиге [31]. Качество осветления воды на фильтрах почти целиком зависит от технологических параметров загрузочных материалов и правильности их загрузки.

#### **4.4 Метод обеззараживания воды**

На Томском подземном водозаборе применяется метод обеззараживания воды сильными окислителями. В качестве окислителя и дезинфектанта используется технический гипохлорит натрия марки А (химическая формула  $\text{NaCl}$ ), который хранится в накопительных резервуарах, с содержанием активного хлора в нем не менее 120 г/л, т.е. раствор не менее 10% концентрации [55]. Качество поступающего гипохлорита натрия должно соответствовать требованиям ТУ 6-01-29-93 [57], который производится на ООО ТД "Химпром" г. Кемерово из абгазного хлора на стадии сжижения производства хлора и диафрагменного едкого натра.

Гипохлорит натрия марки «А» имеет следующие свойства: внешний вид – жидкость от зеленовато-желтого до красновато-коричневого цвета, с резким запахом, характерным для хлорсодержащих реагентов.

Сущность метода обеззараживания воды гипохлоритом натрия состоит в том, что находящийся в растворе активный хлор окисляет вещества, входящие в состав протоплазмы клеток болезнетворных бактерий. Что позволяет обеспечить безопасность питьевой воды в эпидемиологическом отношении, снизить цветность и содержание загрязнений. Гипохлорит натрия по своей

бактерицидной активности и влиянию на химические показатели качества обрабатываемой воды равноценен действию хлора, хлорной извести и гипохлориту кальция.

Гипохлорит натрия превосходит хлор снижением образования хлорорганических соединений при взаимодействии с органическими загрязнениями, попадающими в природную воду со стоками промышленных производств. Также он применяется для дезинфекции сооружений, технологических трубопроводов. Растворяясь в воде, гипохлорит натрия диссоциирует с образованием гипохлорит-иона и далее хлорноватистой кислоты в соответствии с рН среды.

Доза хлора определяется по хлоропоглощаемости подземной воды и требуемой дозе остаточного хлора в очищенной воде. Согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [43] содержание остаточного свободного хлора в воде хозяйственно-питьевого назначения должна быть 0,3-0,5 мг/л, остаточного связанного – 0,8-1,2 мг/л. Корректировка дозы хлора осуществляется по показаниями лабораторных анализов на содержание остаточного хлора в воде в контрольных точках.

## Глава 5. Исследования повышения эколого- технологической эффективности водопользования на территории Обь-Томского междуречья

### 5.1 Влажность железосодержащих осадков

Влажность является одним из основных параметров, определяющих количество и качество образующегося осадка, а, следовательно, объемы и стоимость сооружений для его обработки.

Влажность осадка, обычно выражаемая в процентах, зависит от количественного содержания влаги, заключенной в порах осадка, и определяется как отношение массы воды  $m_{ж}$ , находящейся в порах осадка, к массе всего осадка  $m_{ос}$ [22]:

$$W = m_{ж} / m_{ос}$$

В таблице 10 приведены данные о влажности осадка, образующиеся в процессе очистки вод на Томском подземном водозаборе.

Таблица 10 – Влажность осадков на разной стадии водоподготовки

Стадия водоподготовки	m воды, г	m осадка, г	W, %	W <sub>ср</sub> , %
Скорые фильтры	24	29,74	80,70	80,62
	23,58	29,28	80,53	
Аэратор	18,61	22,77	81,73	81,05
	22,76	28,32	80,37	
СПИ*+загрузка	19,3	28,99	66,57	63,57
	15,92	26,29	60,56	
СПИ*	17,42	19,62	88,79	88,77
	17,58	19,81	88,74	

\*Система повторного использования

Влажность осадка зависит от качества исходной воды и технологической схемы ее обработки. Наиболее низкие показатели влажности имеют осадки, содержащие большое количество минеральных частиц низкого дисперсного состава и относительно малое количество гидратированных окислов алюминия или железа.

## **5.2 Химический состав подземной воды на разной стадии водоподготовки**

Подземные воды эксплуатационных скважин ТПВ эксплуатируют воды палеогенового водоносного комплекса. В результате процесса выщелачивания и растворения, сформировались пресные, нейтральные или слабощелочные гидрокарбонатные воды кальциевого или магниево-кальциевого состава.

С увеличением количество подаваемой воды, необходимо обеспечить ее качественный состав в пределах СанПиН 2.1.4.1074-01 [43]. В результате болотного этапа формирования химического состава подземных вод в водоносном горизонте создается кислая восстановительная обстановка, способствующая миграции железа, марганца, фосфора, кремния и других микрокомпонентов. На территории ОТМ наблюдается не только повышенное содержанием соединений железа и кремния, но повышенные концентрации ионов марганца. Основными источниками его поступления в воды – железомарганцевые руды и другие минералы в виде оксидов и сульфидов марганца. Этот элемент относится к числу немногих, способных существовать в различных степенях окисления. Степень окисления марганца зависит от концентрации водородных ионов, геохимических типов вод и окислительно – восстановительного потенциала среды.

Автором были отобраны пробы подземной воды поступающей на станцию водоподготовки, из системы повторного использования и воду после фильтров за 2016 г. и 2017 г (таблица 11, лист 1). Система повторного использования предназначается для приема воды после промывки скорых фильтров с большим количеством взвешенных частиц, отстаивания промывной воды в течение времени необходимого для выпадения взвешенных частиц в осадок, и снижении мутности [41]. После этого промывную воду подают в голову очистных сооружений, а осадок откачивают на иловые поля.

Анализы выполнены в научно-образовательном центре «Вода», инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета (ГИГЭ ТПУ), руководитель – к.г.-м.н, доцент А.А. Хвощевская.

Таблица 11 – Результаты химического анализа состава подземной воды на разной стадии водоподготовки

Показатели	Ед.измерения	Подземная вода		Система повторного использования		Вода, прошедшая очистку на фильтрах	
		15.03.2016	31.01.2017	15.03.2016	31.01.2017	15.03.2016	31.01.2017
рН	ед.рН	6,8	7,55	6,38	7,7	7,14	7,6
CO <sub>2</sub>	мг/л	41,4	15	92,4	3,52	29,5	16,7
CO <sub>3</sub>		<3	<3	<3	<3	<3	<3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		329	359	354	354	369	339
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		2,29	5,7	3,73	4,2	2,07	3,6
Cl <sup>-</sup>		7,98	1,8	13,45	2,1	10,4	1,2
Общая жесткость		5,2	5,45	5,6	5,45	5,82	5,15
Ca <sup>2+</sup>		80	79	80	77	87,2	72,5
K <sup>+</sup>		0,72	0,72	1,04	0,72	0,79	0,73
Mg <sup>2+</sup>		14,6	18,3	19,56	19,5	17,8	18,6
Na <sup>+</sup>		13,9	8,4	16	8,1	14	7,9
Fe <sup>общ</sup>		2,2	0,62	7,5	0,08	0,075	0,05
Mn		н/д	0,25	н/д	0,018	н/д	0,026

Продолжение таблицы 11

F		н/д	0,16	н/д	0,16	н/д	0,17
Общая минерализация	мг/л	448,5	472,92	487,78	465,62	501,3	443,53
Окисляемость перм	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,5	1,22	2,22	1,3	0,98	1,3
Электров.	мS/см	0,487	0,485	0,51	0,469	0,559	0,442
NH <sub>4</sub>	мг/л	0,85	0,48	0,0029	0,19	0,22	0,11
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		<0,02	0,67	<0,02	0,11	<0,02	0,068
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,1	4,95	2,23	8,1	0,98	3,2
PO <sub>4</sub>		0,57	0,18	н/д	0,14	0,121	0,12
Si		12,06	6,51	11,94	6,64	12,2	6,35
XПК		н/д	20,6	н/д	4,82	н/д	6,82
C орг.		н/д	1,65	н/д	1,51	н/д	1,42

Подземные воды ОТМ характеризуются превышением установленных нормативов по содержанию железа, кремния и марганца. Присутствие железа связано, во-первых, с его высоким кларком в горных породах земной коры. Во-вторых, с химическими особенностями этого элемента, в частности его переменной валентностью. В-третьих, в Томской области располагается одно из крупнейших проявлений железной руды в России и мире – Бакчарское. В зависимости от окислительно-восстановительного потенциала природных вод железо проявляет характерные для него степени окисления +2 и +3. Железо (II) обнаруживается в основном в водах с низкими значениями Eh [16]. Насыщение воды кислородом приводит к быстрому окислению  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ , поэтому в водных растворах чаще всего встречаются соединения железа (III), как термодинамически более устойчивые [16].

Также появление в подземной воде  $CO_2$  свидетельствует о различных биохимических процессах окисления органического вещества.

В процессы водоподготовки повышается рН, увеличивается содержания хлора, гидрокарбоната и нитратов, но при этом наблюдается снижение большинства показателей. Кроме указанных выше природных загрязнителей (железо и кремния), другие показатели из эксплуатационных скважин ТПВ не превышают предельно допустимых значений.

### 5.3 Анализ распределения концентраций железа в пробах воды из эксплуатационных скважин Томского подземного водозабора

Воды всего Западно-Сибирского артезианского бассейна, куда территориально входит Томская область, образуют провинцию железосодержащих вод [12]. Начиная с глубин 10-30 м, подземные воды обогащены железом, концентрации которого нередко достигают 30-40 мг/л [12].

Томский подземный водозабор введен в эксплуатацию 13 декабря 1973 г. и непрерывно эксплуатируется. В настоящее время он состоит из 198 эксплуатационных скважин, расположенных на трех водозаборных линиях общей протяженностью более 60 км (рисунок 11).

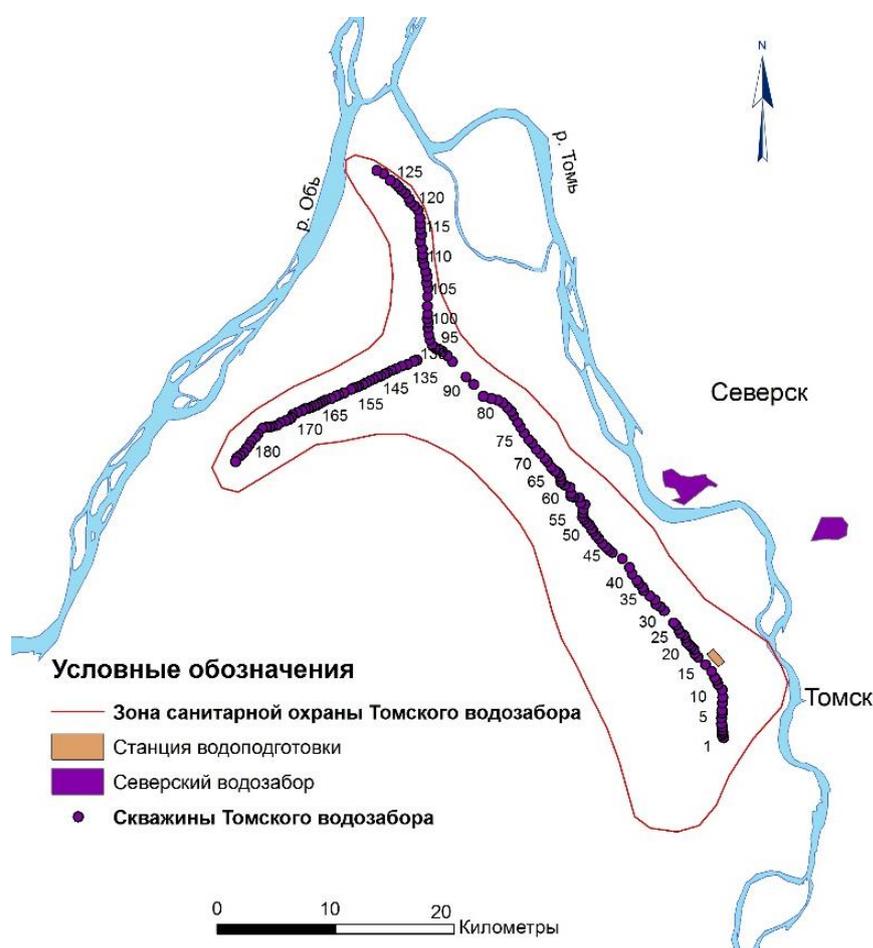


Рисунок 11 – Схема расположения подземных водозаборов и эксплуатационных скважин на территории Обь-Томского междуречья

Для того, чтобы изучить распределение концентраций железа в пробах отдельных эксплуатационных скважинах, автором было проведено обобщение и

систематизация протоколов химического анализа проб воды, по данным ООО «Томскводоканал», Томской геологоразведочной экспедицией и ОАО «Томскгеомониторинг».

Полученные данные позволили разбить все время работы водозабора на три периода: 1973-1989, 1990-2000 и 2001-2017 гг. Первый период обусловлен запуском I и II очереди водозабора, второй период – это эксплуатация двух водозаборных линий и частичный запуск третьей очереди, а третий период – работа всех водозаборных линий (II очередь в последние годы не эксплуатируется).

На рисунках 12-14 представлены графики, на которых отображены содержание железа на I, II и III очередях за разные периоды эксплуатации (лист 3).

Наиболее неравномерное распределение железа отмечается в скважинах I водозаборной линии, разброс значений достигает до 4 мг/л. Это объясняется неравномерной нагрузкой на скважины, в том числе разницей во времени эксплуатации и в среднем дебите скважин.

II водозаборная линия характеризуется более равномерным распределением железа, относительно первой очереди. В некоторых скважинах отмечается резкий рост содержания железа по сравнению с ранними периодами эксплуатации (скв.101э, 110э, 121э и др.).

Динамика изменения концентраций железа в скважинах III очереди отмечается наиболее равномерным характером. В ранний период эксплуатации содержания железа характеризуются, как стабильно низкие (до 1 мг/л), за 1990-2000 и 2001-2017 гг. отмечается заметное его увеличение и положительная динамика роста.

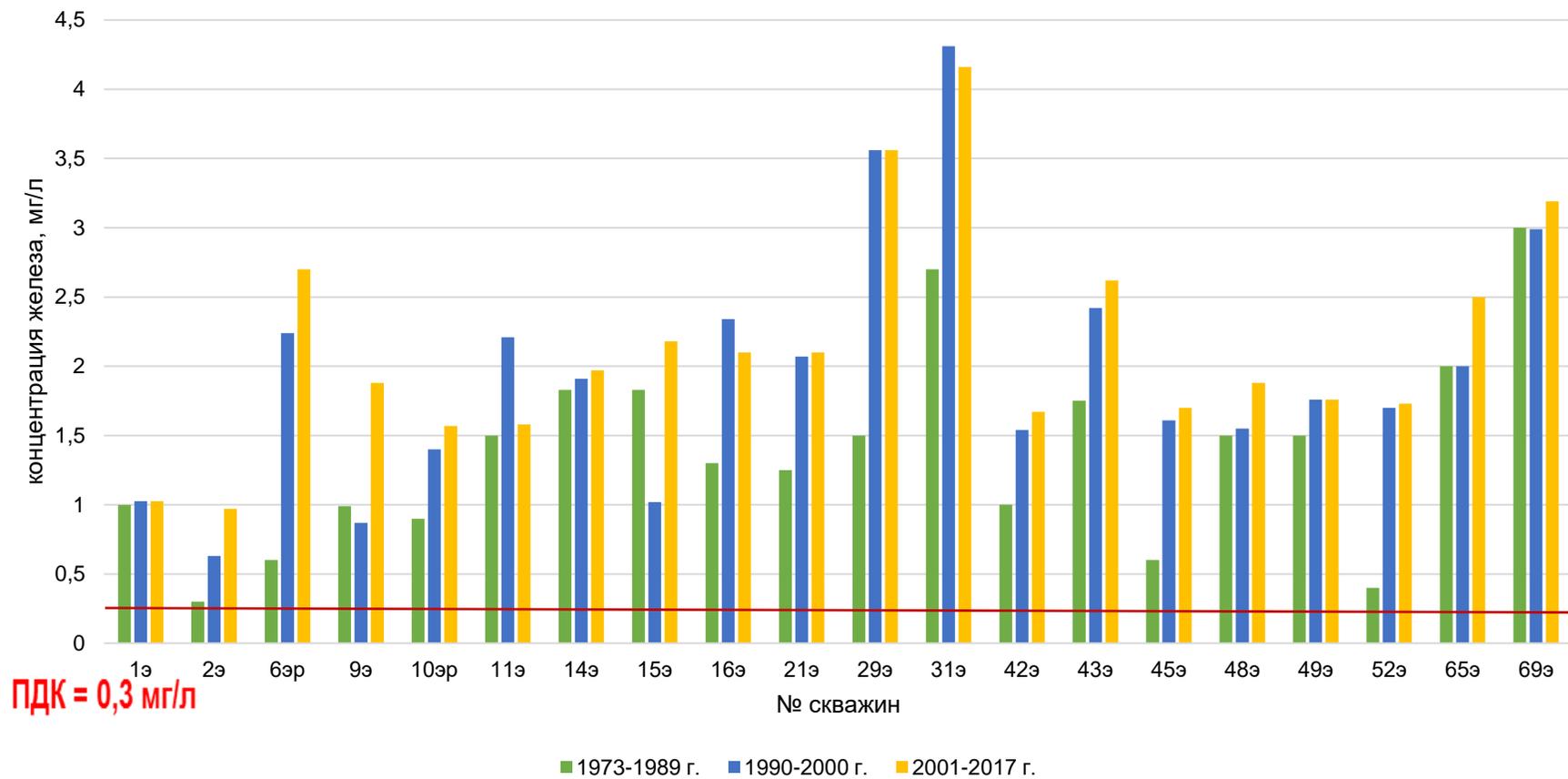


Рисунок 12 – Распределение содержаний железа в скважинах I очереди водозабора за разные периоды эксплуатации

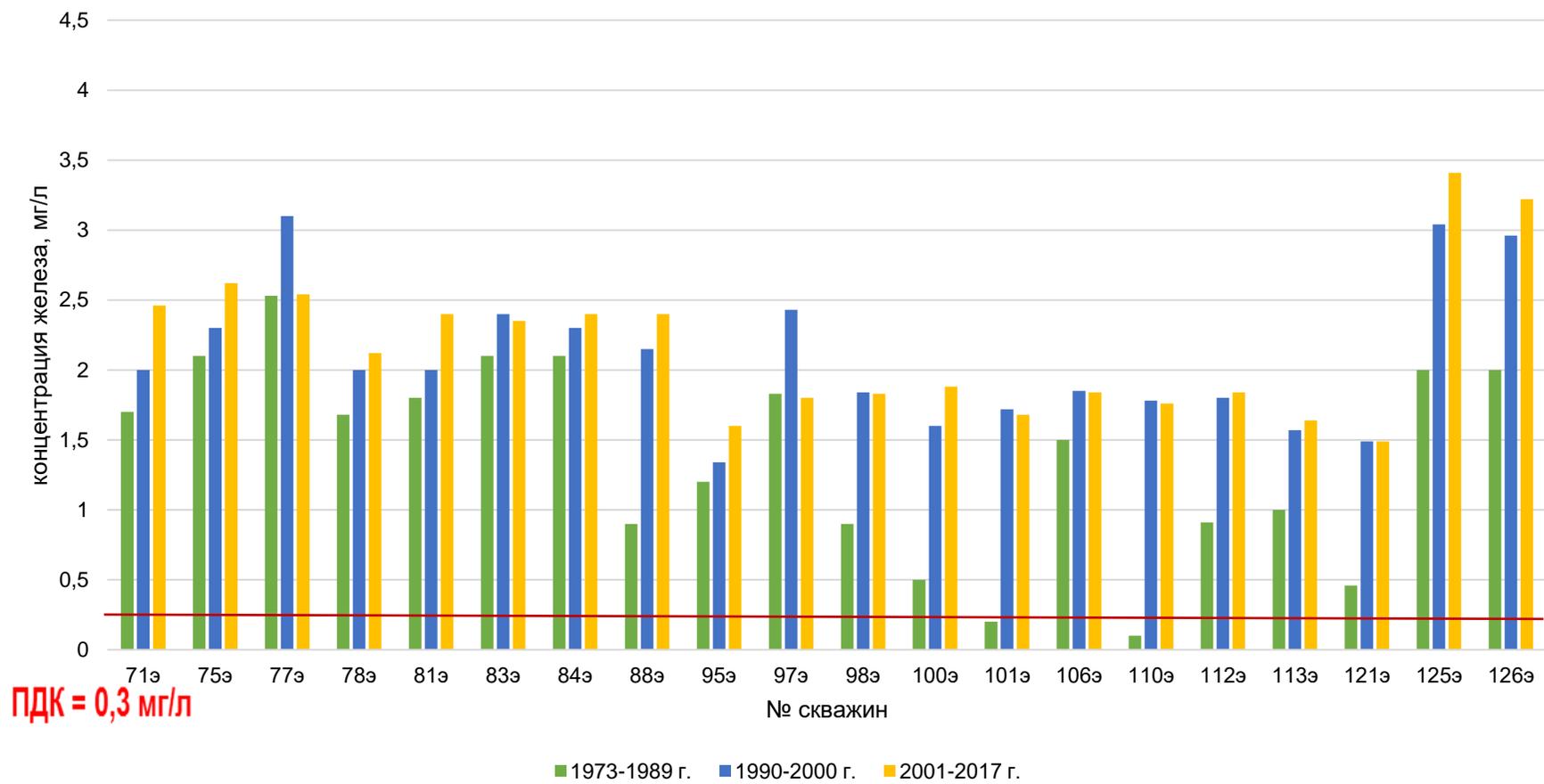


Рисунок 13 – Распределение содержаний железа в скважинах II очереди водозабора за разные периоды эксплуатации

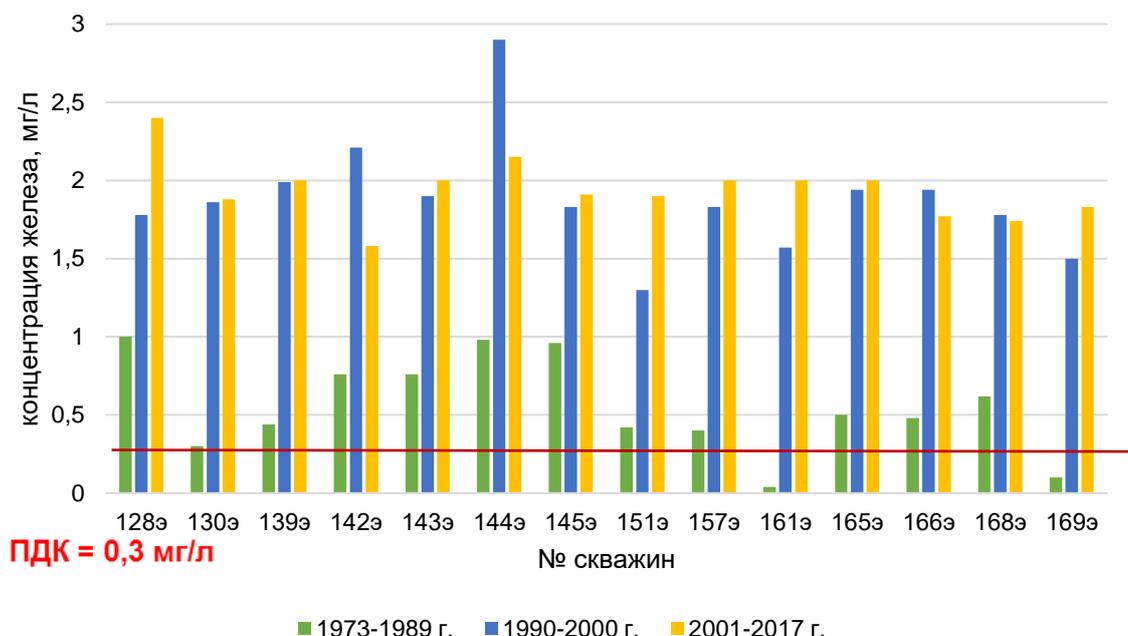


Рисунок 14 – Распределение содержаний железа в скважинах III очереди водозабора за разные периоды эксплуатации

На всех графиках наблюдается резкое превышение ПДК по железу, как минимум в 2,5 раза и более. А самое главное выражена тенденция увеличения железа с момента начала эксплуатации ТПВ. Это обусловлено развитием депрессионной воронки, и, следовательно, увеличением зоны аэрации, что совместно с процессами в системе «вода-порода» приводит к обескислороживанию подземных вод. В результате чего происходит накопление закисного железа (FeO) в водах ОТМ.

Исследования Ивановой И.С., Лепокуровой О.Е., Трифонова Н.С. [14] выявили закономерность постепенного уменьшения концентрации железа с глубиной (в 5-6 раз) в подземных водах северо-запада Томской области. Выявленная закономерность распространяется до глубин порядка трех километров. Была предпринята попытка выявить аналогичную зависимость для скважин ТПВ (рисунок 15) (лист 3).

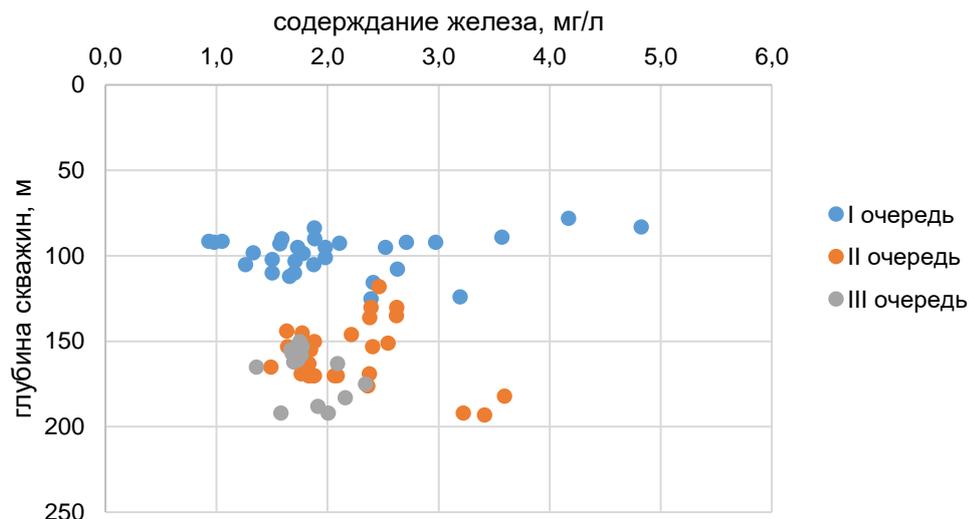


Рисунок 15 – График распределения среднего содержания железа по глубине скважин на разных очередях за период 2000-2017 гг.

Проанализировав полученный график нельзя установить зависимость для скважин ТПВ. Во-первых, это связано с существенной нагрузкой на скважины и изменением гидрогеохимического режима за время эксплуатации. Во-вторых, отсутствие взаимосвязи объясняется малой глубиной скважин, по сравнению с приведенными исследованиями.

Было проведено исследование обобщенной базы данных химических анализов подземных вод из скважин ТПВ с применением ПК STATISTICA.

Исследуемая выборка содержала 73 наблюдения с 1997-2017 г., т.е. усредненных результатов химических анализов из наиболее эксплуатируемых скважин ТПВ. Статистические исследования проводились для следующих переменных: общая жесткость,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ , сухой остаток,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ , pH, Si, Mn, Ca и Mg.

Для указанных переменных были определены основные статистические характеристики (таблица 12).

Таблица 12 – Основные статистические характеристики

	Средн.	Медиана	Мин	Макс	Ст. откл	Коэф вар.	A	Sa	E	Se	A/Sa	E/Se
<b>Ж</b>	5,79	6,13	3,07	7,29	1,12	19,38	-1,42	0,28	1,02	0,56	5,06	1,83
<b>NO<sub>2</sub></b>	0,54	0,44	0,12	2,83	0,45	83,25	3,79	0,28	14,78	0,56	13,49	26,62
<b>NO</b>	0,01	0,004	0,003	0,16	0,02	253,93	8,36	0,28	70,78	0,56	29,73	127,48
<b>Сух. ост.</b>	354,61	350,00	184,4	1087,17	142,95	40,31	3,61	0,28	16,21	0,56	12,85	29,19
<b>SO<sub>4</sub></b>	4,50	3,60	2	10	2,97	65,97	0,90	0,28	-0,64	0,56	3,21	1,15
<b>Cl</b>	16,54	1,00	0,50	429,47	73,73	445,77	4,95	0,28	23,80	0,56	17,61	42,87
<b>Fe</b>	2,09	1,88	0,93	4,82	0,69	32,93	1,56	0,28	3,51	0,56	5,54	6,31
<b>pH</b>	7,34	7,33	7,1	7,60	0,10	1,34	0,23	0,28	0,95	0,56	0,81	1,72
<b>Si</b>	10,84	11,20	8,62	13,61	1,15	10,59	-0,29	0,28	-0,69	0,56	1,04	1,23
<b>Mn</b>	0,18	0,18	0,07	0,28	0,05	27,78	-0,04	0,28	-0,56	0,56	0,13	1,01
<b>Ca</b>	88,84	91,10	42,50	103,84	13,80	15,54	-2,20	0,37	5,14	0,72	5,96	7,10
<b>Mg</b>	19,68	19,78	10	33,30	4,39	22,29	0,40	0,37	1,75	0,72	1,07	2,42

Первая гипотеза, которую необходимо проверить – гипотеза о нормальном распределении химических элементов в подземных водах ОТМ. Вычисление параметров распределения случайной величины проводим с использованием инструмента «описательные статистики» ПК STATISTICA.

Для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения нормальному закону, пользуемся методом, основанном на рассмотрении оценок асимметрии (A) и эксцесса (E) (таблица 12). В условиях нормального распределения случайные величины, значения которых A и E мы наблюдаем, распределены приблизительно нормально со средними значениями, равными 0 и дисперсиями  $\approx \sqrt{\frac{6}{n}}$  и  $\sqrt{\frac{24}{n}}$  соответственно.

Следовательно, числа  $t_1 = \frac{A}{\sqrt{\frac{6}{n}}}$  и  $t_2 = \frac{E}{\sqrt{\frac{24}{n}}}$ , где n= количество наблюдений,

будут представлять собой значения случайных величин, распределенных приблизительно нормально с параметрами (0,1). Поэтому гипотезу о нормальном распределении следует отклонить, если хоть одно из них,  $t_1$  или  $t_2$ , превысит по абсолютной величине  $t_q$ . Обычно принимают  $t_q = 3$  (при уровне значимости  $q = 0,01$ ) [3].

Таким образом, если выполняются неравенства:

$$\left| \frac{A}{S_A} \right| \leq 3; \quad \left| \frac{E}{S_E} \right| \leq 3$$

То распределение соответствует нормальному закону.

По результатам анализа для исследуемых переменных эмпирическое распределение не соответствует нормальному закону, кроме pH, Si, Mn и Mg. Для этих переменных выполняются приведенные выше неравенства, поэтому для них гипотеза о нормальном распределении не отвергается в отличие от других переменных.

Железо в подземных водах на территории ОТМ не подчиняется закону нормального распределения (рисунки 16 и 17), об этом говорит, как несоблюдение неравенств, так и низкий уровень значимости ( $p < 0,05$ ). В отличие от кремния и марганца (рисунки 18-21), где неравенства соблюдаются и уровень значимости высокий ( $p > 0,05$ ) (лист 4).

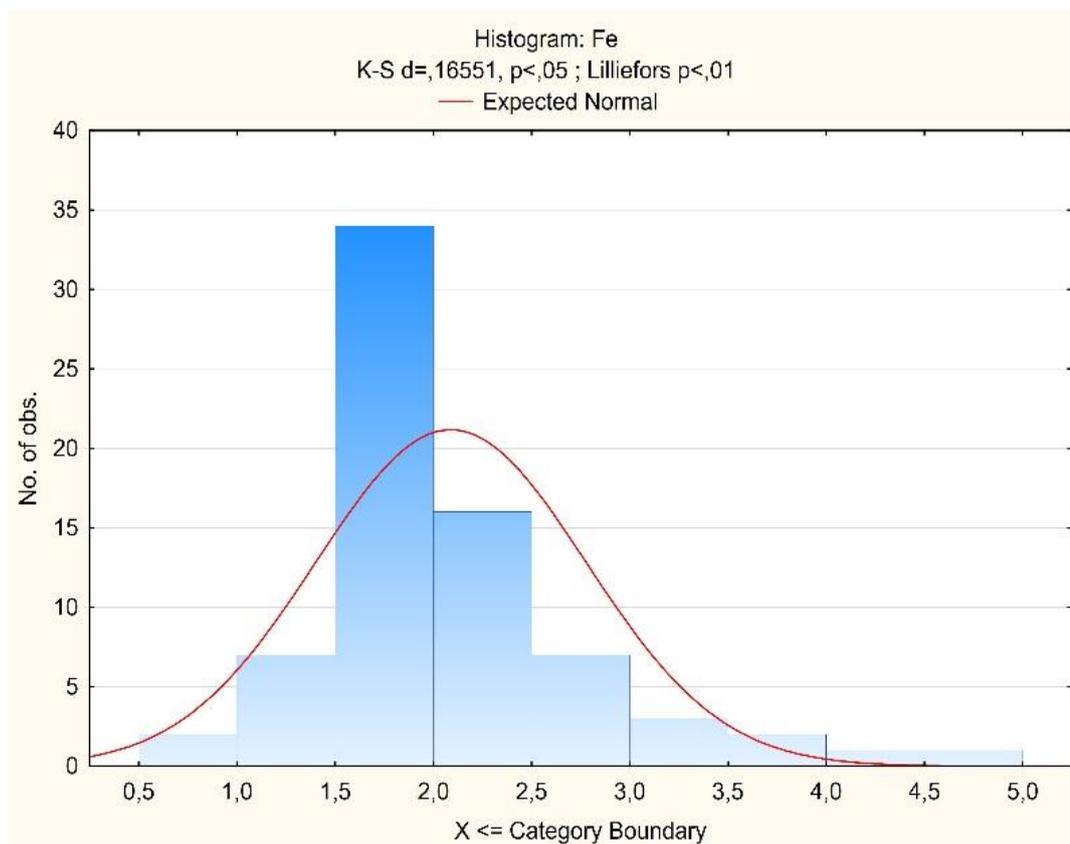


Рисунок 16 – Гистограмма распределения железа в подземных водах ОТМ

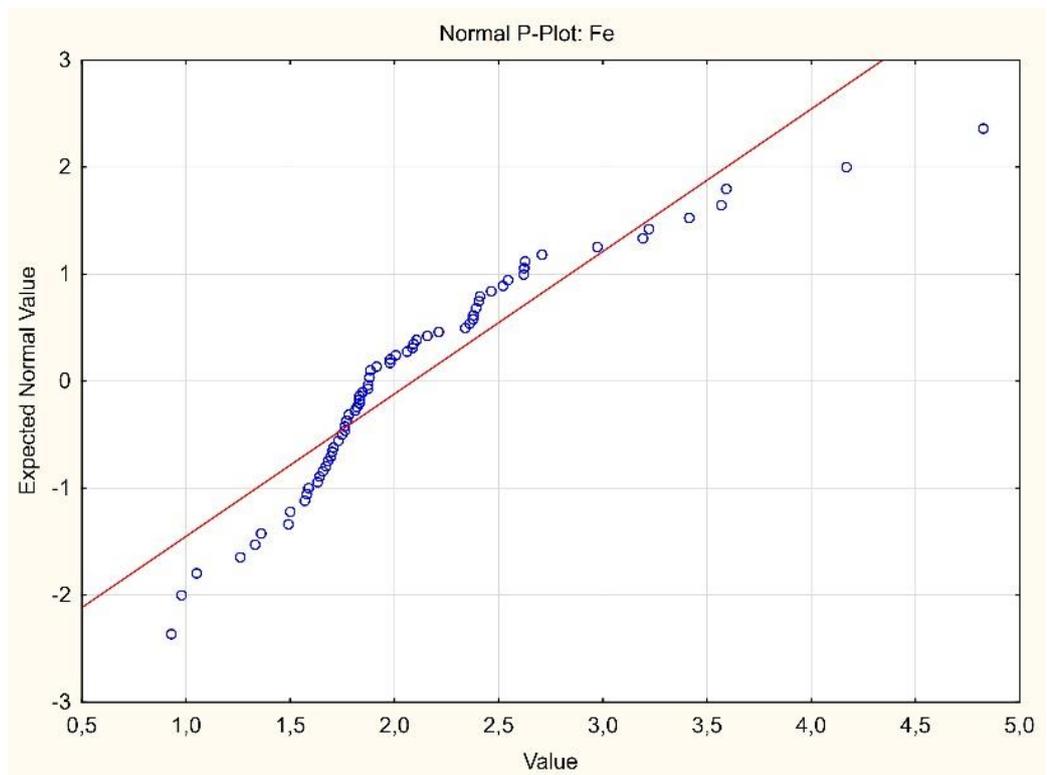


Рисунок 17 – Соответствие распределения железа в подземных водах ОТМ теоретической прямой

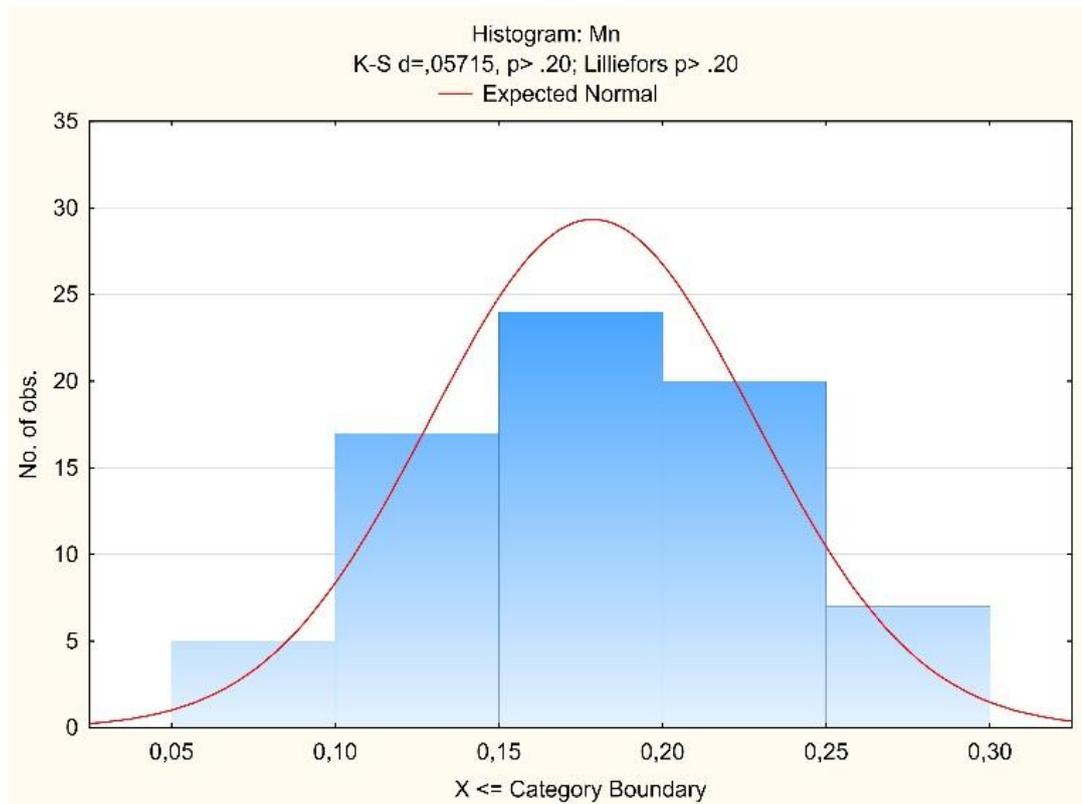


Рисунок 18 – Гистограмма распределения марганца в подземных водах ОТМ

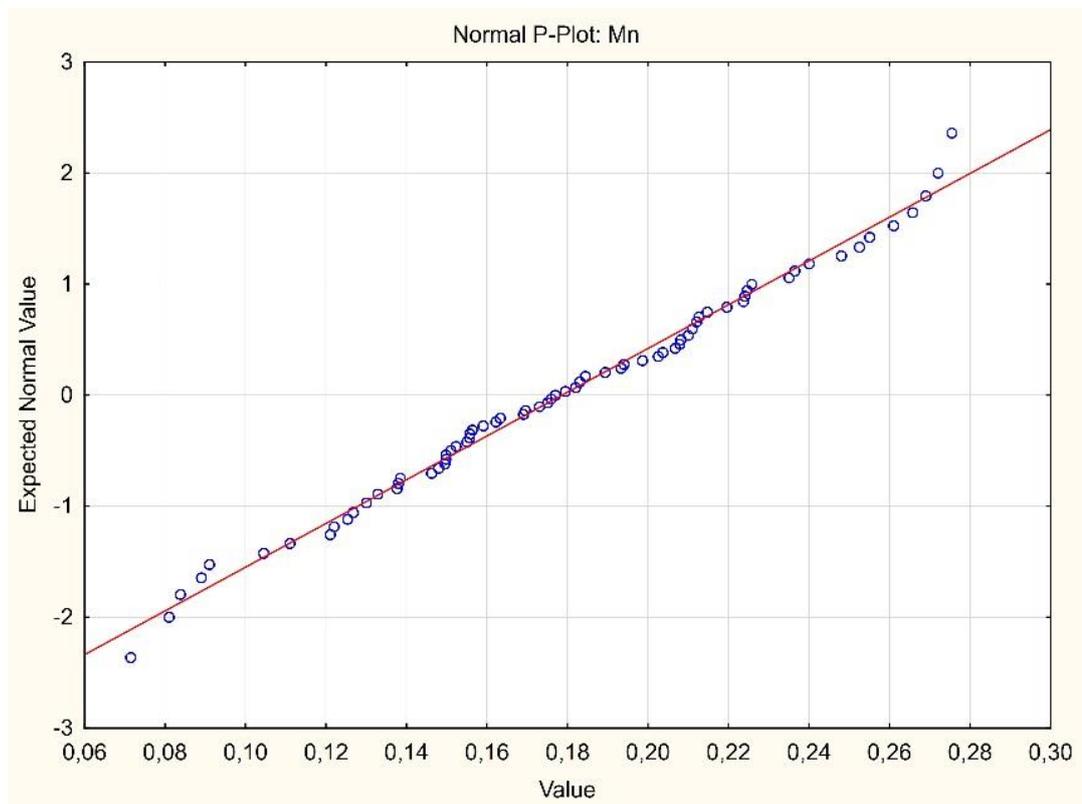


Рисунок 19 – Соответствие распределения марганца в подземных водах ОТМ теоретической прямой

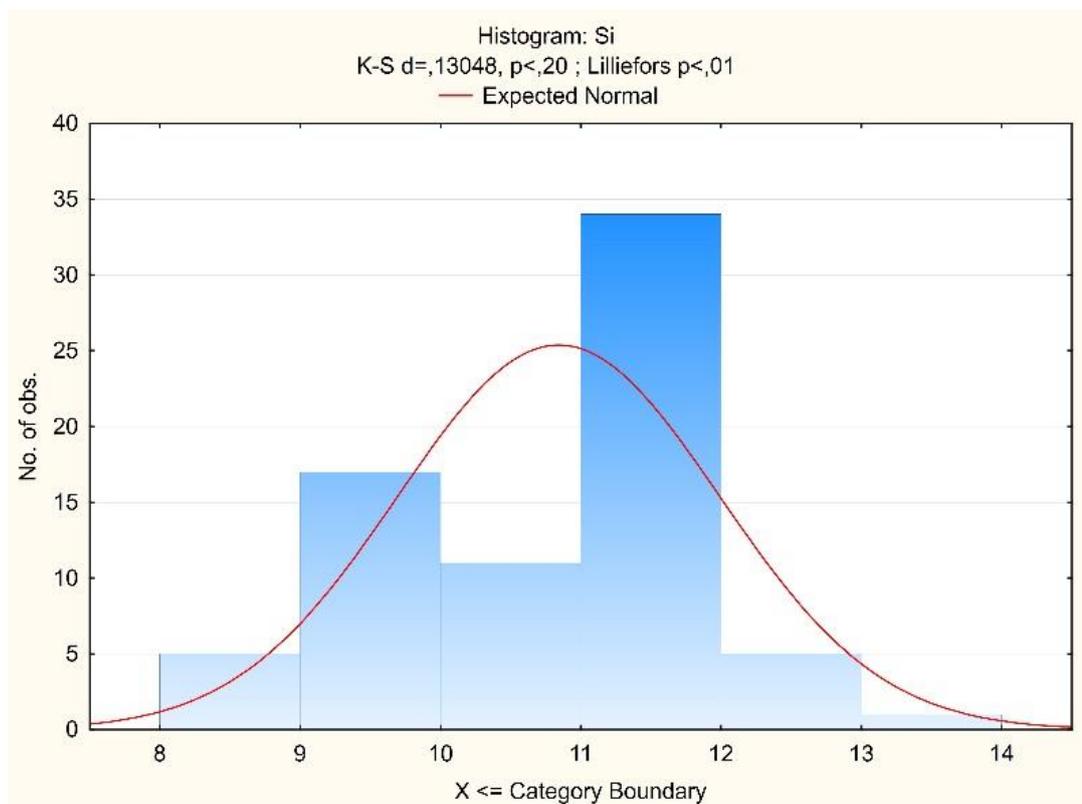


Рисунок 20 – Гистограмма распределения кремния в подземных водах ОТМ

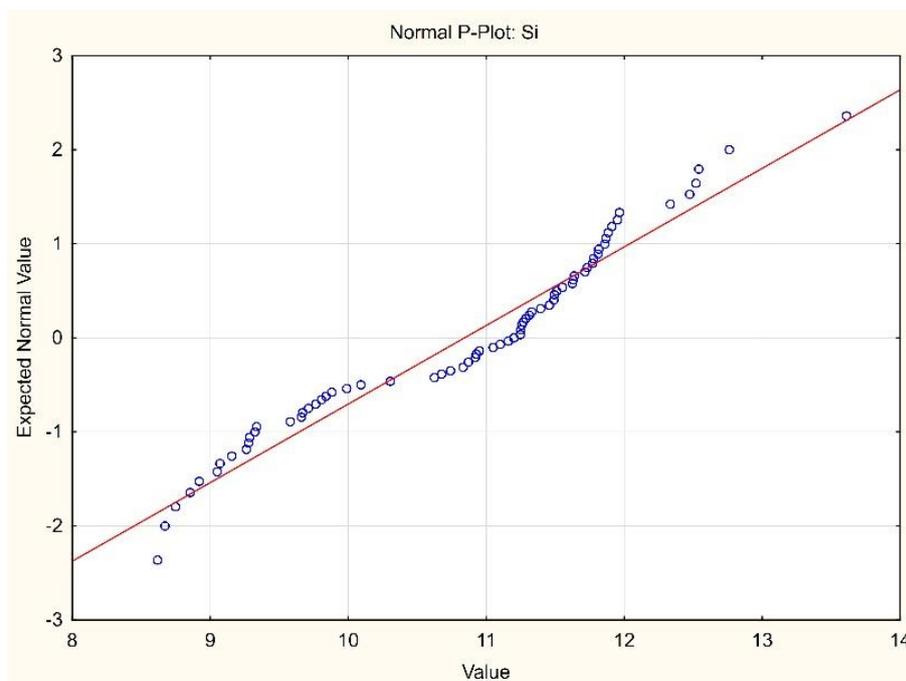


Рисунок 21 – Соответствие распределения кремния в подземных водах ОТМ теоретической прямой

Автором была предпринята попытка проверить гипотезу о логнормальном распределении железа в подземных водах ОТМ (рисунок 22).

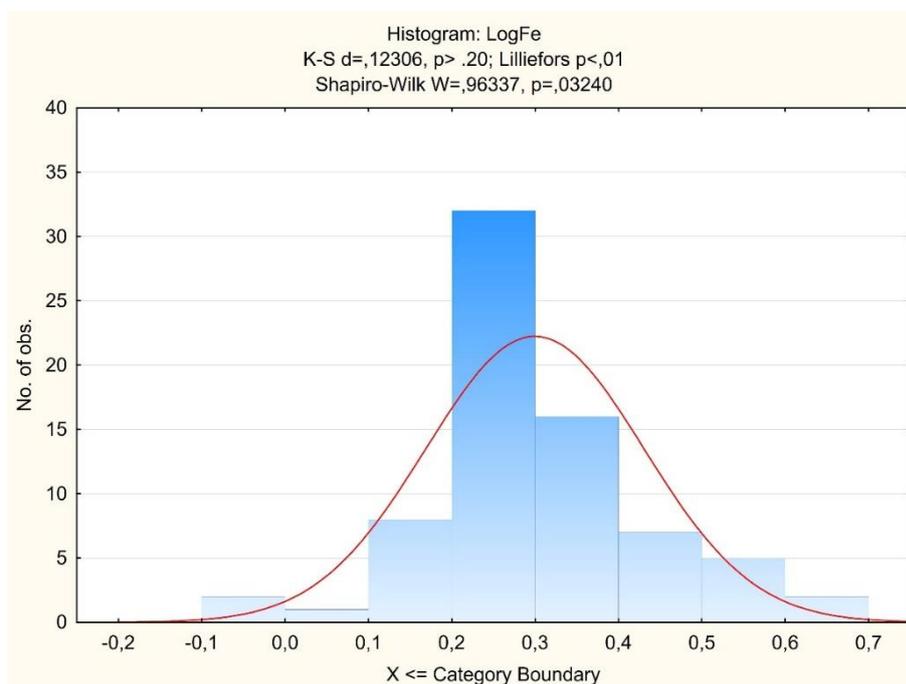


Рисунок 22 – Гистограмма распределения логарифма железа в подземных водах ОТМ

Как видно по рисунку 22 эмпирическое распределение логарифма железа в подземных водах ОТМ носит нормальный характер ( $p > 0,05$ ) и выполняются

неравенства (таблица 13), также логнормальный закон выполняется для распределения сульфат иона (лист 4).

Таблица 13 – Основные статистические характеристики логарифмов переменных

	Средн.	Медиана	Мин	Макс	Ст. откл	Коеф вар.	A	Sa	E	Se	A/Sa	E/Se
Log Fe	0,30	0,27	-0,03	0,68	0,13	43,70	0,33	0,28	1,06	0,56	1,17	1,90
Log SO4	0,57	0,56	0,30	1,00	0,27	48,16	0,43	0,28	-1,37	0,56	1,51	2,47
Log Ж	0,75	0,79	0,49	0,86	0,10	13,55	-1,70	0,28	1,64	0,56	6,04	2,96
Log Сух.ост	2,53	2,54	2,27	3,04	0,13	5,24	1,06	0,28	5,31	0,56	3,77	9,57

Для исследования особенностей распределения железа в подземных водах ОТМ автором был проведен корреляционный анализ, с использованием ПК STATISTICA. Результаты анализа приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Корреляционная матрица для основных ионов в подземных водах ОТМ

	Mn	NO2	NO	SO4	Cl	Fe	pH	Si	Ca	Mg
Mn	1,000	0,309	0,215	-0,110	0,379	0,650	-0,214	-0,353	0,641	0,466
NO2	0,309	1,000	-0,093	-0,376	0,939	0,434	-0,261	-0,164	0,192	0,657
NO	0,215	-0,093	1,000	0,090	-0,055	0,308	0,148	-0,122	0,188	0,087
SO4	-0,110	-0,376	0,090	1,000	-0,281	-0,177	0,133	0,047	-0,111	-0,423
Cl	0,379	0,939	-0,055	-0,281	1,000	0,434	-0,202	-0,201	0,192	0,601
Fe	0,650	0,434	0,308	-0,177	0,434	1,000	0,063	-0,639	0,293	0,322
pH	-0,214	-0,261	0,148	0,133	-0,202	0,063	1,000	-0,354	-0,472	-0,368
Si	-0,353	-0,164	-0,122	0,047	-0,201	-0,639	-0,354	1,000	0,135	0,097
Ca	0,641	0,192	0,188	-0,111	0,192	0,293	-0,472	0,135	1,000	0,636
Mg	0,466	0,657	0,087	-0,423	0,601	0,322	-0,368	0,097	0,636	1,000

В таблице 14 цветом выделены значимые коэффициенты корреляции. В нашем случае считаем коэффициент корреляции значимым в диапазоне от 0,5-1,0. При попадании коэффициента в данный диапазон – корреляционная связь является слабой линейной. Таким образом, наблюдаем слабую прямую связь железа с марганцем, и слабую обратную связь с кремнием (рисунки 23-24) (лист 4).

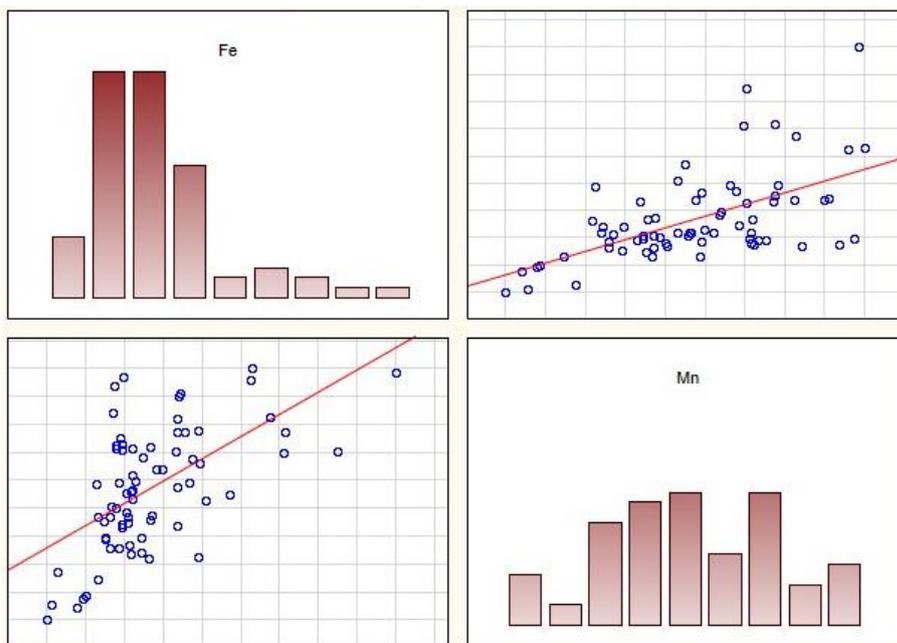


Рисунок 23 – Диаграмма рассеяния для Fe и Mn

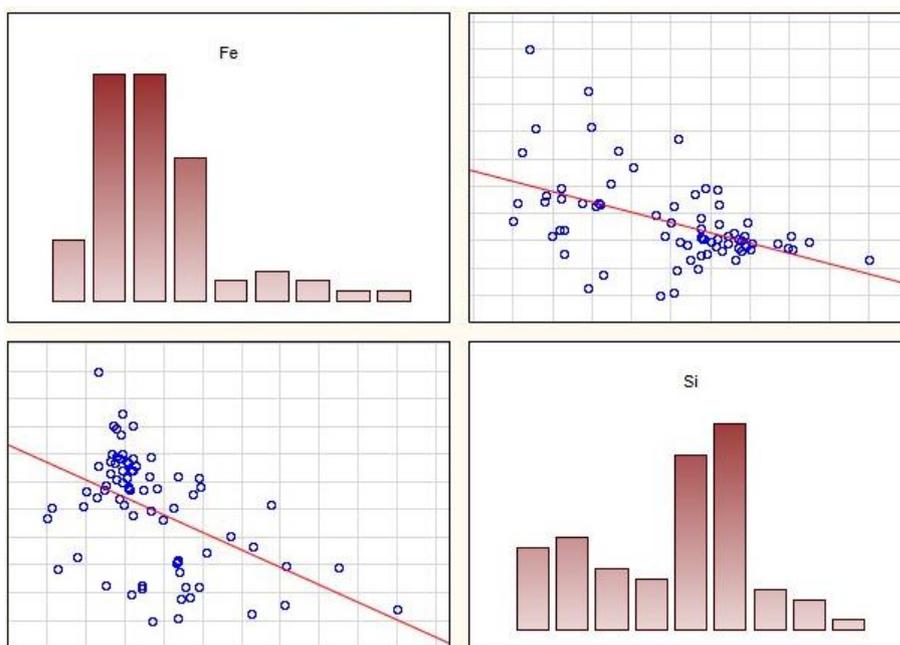


Рисунок 24 – Диаграмма рассеяния для Fe и Si

## 5.5 Результаты рентгеновской дифрактометрии железосодержащих осадков Томского подземного водозабора

Для определения минерального состава железосодержащих осадков ТПВ, применялась рентгеновская дифрактометрия. Исследования проводились в учебно-научной лаборатории оптической и электронной микроскопии Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» ИШПР ТПУ, под руководством старшего преподавателя к.г.-м.н. Б.Р. Соктоева.

На рисунке 29 представлена дифрактограмма образца железосодержащего осадка из аэраторов ТПВ (лист 6).

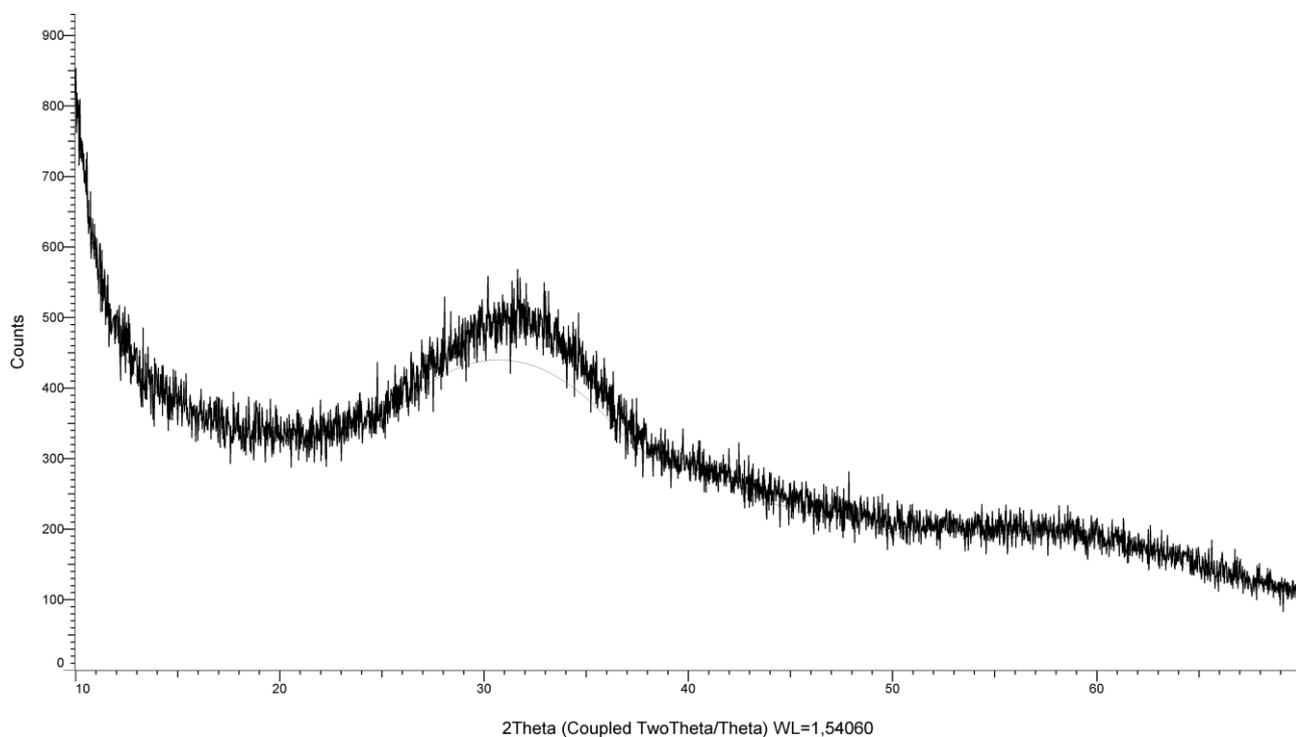


Рисунок 29 – Дифрактограмма образца железосодержащего осадка из аэраторов ТПВ (2017 г.)

По результатам данного анализа, можно судить о том, что возможностей данного метода недостаточно для идентификации минералов в железосодержащем осадке на стадии аэрации.

На рисунках 30 и 31 представлены дифрактограммы образцов железосодержащих осадков из фильтров ТПВ (лист 6). На данных графиках отмечается только один единственный пик, свидетельствующий о присутствии

SiO<sub>2</sub>. Проба из фильтра более чем на 90 % представлена аморфной фазой. Низкое накопление минералов обусловлено кратким временем нахождения воды в скорых фильтрах, следовательно, недостаточным для реакции временем взаимодействия.

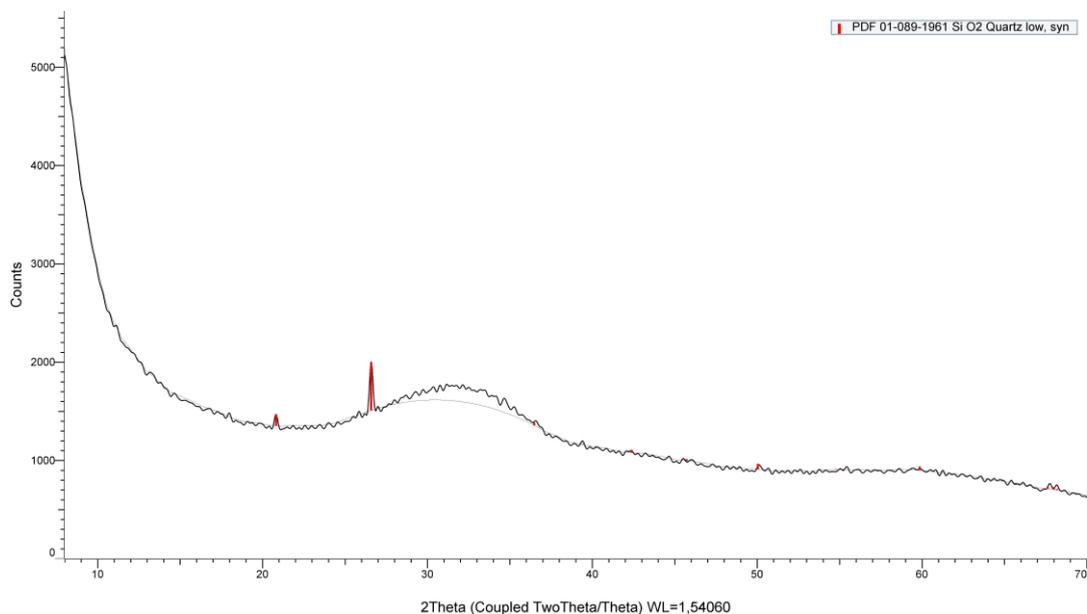


Рисунок 30 – Дифрактограмма образца железосодержащего осадка из фильтра ТПВ (2017 г.)

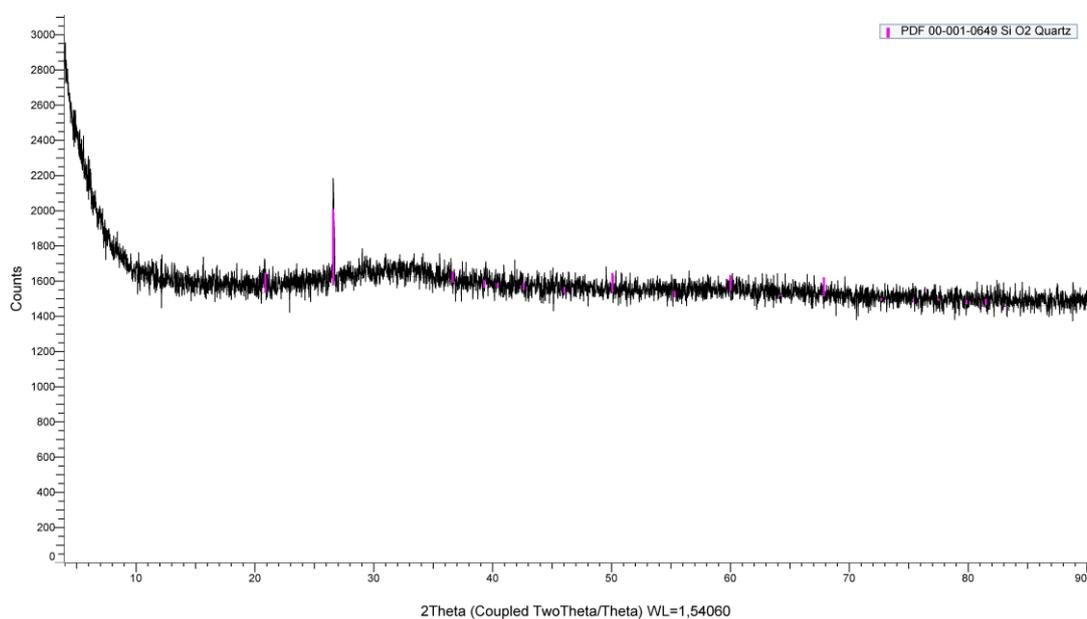


Рисунок 31 – Дифрактограмма образца железосодержащего осадка из фильтра ТПВ (2016 г.)

На рисунке 32 представлена дифрактограмма образца железосодержащего осадка из отстойника ТПВ (лист 6).

Кроме кремнезема, наблюдается присутствие кальцита и альбита. Проба из отстойника примерно на 60-70 % представляет собой аморфную фазу.

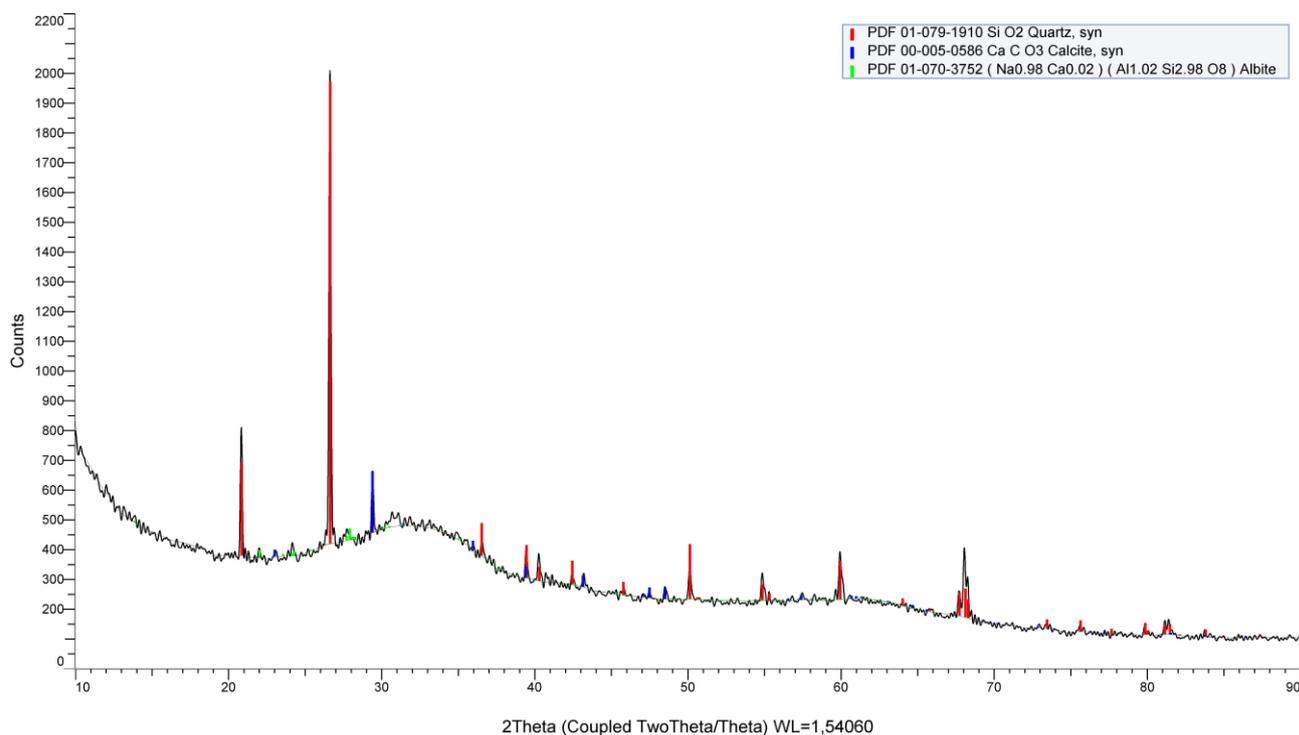


Рисунок 32 – Дифрактограмма образца железосодержащего осадка из отстойника ТПВ (2017 г.)

Таким образом, состав железосодержащего осадка, образующегося в процессе водоподготовки, кроме вторичных минералов, формирующихся из подземных вод, включает элементы загрузки фильтров. Скорее всего наличие альбита связано с тем, что в качестве фильтрующего материала когда-то использовался альбитофир, оставшийся в системе.

## Глава 6. Рекомендации по утилизации железосодержащих осадков

Интенсивное развитие жилищного строительства на территории ОТМ привело к росту водопотребления. В результате чего в процессе водоподготовки на ТПВ образуется большое количество железосодержащего осадка, который характеризуется разнообразным химическим составом. Причем химический состав таких осадков зависит от физико-химических свойств исходной воды и технологии водоподготовки.

На данный момент на ТПВ применяется способ обработки железосодержащих осадков с помощью обезвоживания на иловых площадках (карты). Существующие площадки для подсушивания осадка представлены семью картами размерами 40 м x 12,5 м каждая. Рабочий объем одной карты – 480 м<sup>3</sup>. Требуемый объем площадок для подсушивания осадка определяется в соответствии с СП 31.13330.2012 [54] на самое неблагоприятное время года – зимний период или период намораживания.

Целью исследований железосодержащих осадков является поиск применения в безотходных технологиях, и дальнейший отказ от их захоронения. Осадок в сухом виде характеризуется повышенным пылением и приводит к деградации природной среды, которая влечет за собой негативные изменения окружающей среды, поэтому данная методика считается неудовлетворительной.

Железосодержащие осадки можно утилизировать в следующих направлениях рисунок 33 (лист 7):

- 1) Брикетирование влажного осадка, его последующую сушку и использовании в металлургии. Этот путь решает экологическую проблему, но требует больших затрат энергии на получение чугуна и стали;
- 2) Переработка на химические реактивы. Из основы железосодержащего осадка получают два основных продукта: хлорида железа и смешанный сульфат щелочноземельных и тяжелых металлов. Для получения стекла можно использовать сульфат. А вот использования хлорида железа более многообразно – в радиотехнической промышленности, в коммунальном хозяйстве для очистки сточных вод, на станциях обезжелезивания для

повышения эффективности и скорости окисления двухвалентного железа [21].

- 3) Плазменная утилизация осадков, данное направление разрабатывается в ИШЯТ ТПУ. С помощью установок магнитных сепараторов после узла мокрой очистки позволяет постоянно извлекать из оборотной технологической воды твёрдые продукты плазменной утилизации отходов очистки воды, включающие магнитную окись железа, для последующего использования, например, при производстве красящих пигментов и лакокрасочной продукции [2].
- 4) Получение стройматериалов. Данный метод разрабатывается авторами [21], которые показывают возможность получения пигментов, композиционных материалов, керамики, объемно окрашенных бетонных изделий с использованием железосодержащих отходов водоподготовки.

Железосодержащие осадки являются сырьем для химической и строительной промышленности, и их переработка не только решит экологическую проблему, но и может быть экономически оправдана и рентабельна.

## Заключение

В результате проведенных исследований были получены следующие выводы (лист 7):

1. Все подземные воды территории ОТМ содержат большие количества железа. Такое положение обусловлено высоким кларком Fe в горных породах земной коры, а также специфическими химическими особенностями этого элемента, в частности его переменной валентностью.
2. Вода на станции водоподготовки пресная, слабощелочная, умеренно-жесткая, гидрокарбонатная кальциево-магниевая. В исходной воде наблюдается повышенное содержание железа, марганца и кремния.
3. Технология эффективной очистки подземных вод определяется с учетом особенностей ее химического состава, который существенно отличается на разных стадиях водоподготовки.
4. Влажность является одним из основных параметров, определяющих количество и качество образующегося осадка, а, следовательно, объемы и стоимость сооружений для его обработки.
5. Железосодержащие осадки, образующиеся в процессе водоподготовки на ТПВ, кроме вторичных минералов, формирующихся из подземных вод, включает элементы загрузки фильтров.
6. Результаты рентгеновской дифрактометрии свидетельствуют о преобладании диоксида кремния в железосодержащих осадках.
7. В составе железосодержащих осадков представлено разнообразие химических элементов, что позволяет расширить области их применения в безотходных технологиях.

Решив проблему рационального использования железосодержащих осадков, а именно найдя способ их экономически и экологически выгодного применения, повысится эколого-технологическая эффективность водопользования на территории Обь-Томского междуречья.

**Приложение А**  
**(рекомендуемое)**

**Повышенный уровень вибрации на рабочем месте**

Таблица Б.3 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 - технологической типа "а"

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с		дБ		м/с·10		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1,6	0,089		99		0,89		105	
2,0	0,079	0,14	98	103	0,63	1,30	102	108
2,5	0,070		97		0,45		99	
3,15	0,063		96		0,32		96	
4,0	0,056	0,10	95	100	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056		95		0,14		89	
8,0	0,056	0,10	95	100	0,11	0,22	87	93
10,0	0,070		97		0,11		87	
12,5	0,089		99		0,11		87	
16,0	0,110	0,20	101	106	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		103		0,11		87	
25,0	0,180		105		0,11		87	
31,5	0,220	0,40	107	112	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		109		0,11		87	
50,0	0,350		111		0,11		87	
63,0	0,450	0,79	113	118	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560		115		0,11		87	

**Приложение Б**  
(справочное)

**Ausnutzungsweg der eisenführenden Niederschläge, die sich in der Enteisungsanlage der Tomsker Grundwasserfassung bilden**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ61	Карманова А.В.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор Отделения геологии	Попов В.К.	д.г.-м.н., профессор		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Щеголихина Ю.В.	к.ф.н.		

## **Einführung**

Das Untersuchungsobjekt sind eisenhaltige Ablagerungen, die sich in der Wasserenteisungsanlage der Tomsker Grundwasserfassung bilden.

Das Ziel der Studie besteht in der Untersuchung der Herausbildungstechnologie der eisenhaltigen Ablagerungen bei der Wasseraufbereitung, Untersuchung der stofflichen Zusammensetzung der Ablagerungen und Suche nach rationellen Verfahren für deren Verwertung.

Im Zuge der Untersuchung wurden Probeentnahme der eisenhaltigen Ablagerungen und deren Untersuchung in den akkreditierten Laboratorien der Tomsker Polytechnischen Universität durchgeführt.

Im Ergebnis der Untersuchung wurden stoffliche Zusammensetzung und morphologische Struktur der Neubildungen an der Tomsker Grundwasserfassung offengelegt und die Empfehlungen zu deren Verwertung unter der Berücksichtigung der wirtschaftstechnischen Spezifik der Industrie ausgearbeitet.

Anwendungsbereich: effizienteste Verfahren zur Verwertung der Abfälle von der Wasserenteisungsanlage – Verwendung der Ablagerungen für Chemikalien – Eisenchlorid; Verwendung der abgelagerten Sulfate der Erdalkalimetalle für Glasindustrie; Herstellung der nichtorganischen, inkl. magnetischen Farbpigmente; Verwendung für die Produktion der Baustoffe, insbesondere für die Produktion der gefärbten Nachbehandlungsflüssigkeit und des Betons.

## **Aktuelle Probleme**

Grundwasser entsteht aus Regenwasser, das in den Boden versickert. Mit dem Sickern durch die Bodenschichten wird das Wasser mikrobiologisch gereinigt, dadurch jedoch zugleich immer sauerstoffärmer. In den tiefen grundwasserführenden Bodenschichten enthält das Grundwasser in der Regel keinen Sauerstoff mehr. Bedingt durch den Sauerstoffmangel lösen sich Eisen ( $\text{Fe}^{2+}$ ) und Mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ) in erhöhten Konzentrationen.

Eisenhaltiges Wasser verursacht rot-braune Ablagerungen sowie Verfärbungen der Wäsche nach dem Waschen. Außerdem greift das Eisen metallische Rohre an und führt zu Ablagerungen in den Rohren, die oft durch sogenannte Eisenbakterien noch verstärkt werden. Je höher der Eisengehalt, umso schlechter schmeckt das Wasser. Trinkwasser sollte klar, rein und appetitlich sein. Qualitativ gutes Trinkwasser zeichnet sich durch Reinheit und gesundheitliche Sicherheit aus. Wasser mit hohen Eisen-, Mangan- oder Ammoniumgehalten erfordert eine Aufbereitung, bevor es als Trinkwasser genutzt werden kann. Die Trinkwasserverordnung gibt für Eisen, Mangan und Ammonium klare Grenzwerte vor, wie hoch die Konzentrationen im Trinkwasser höchstens sein dürfen [33].

Chronische Verwendung von Wasser mit einer großen Menge an Eisen kann, um verschiedene Krankheiten, vor allem von Leber und Nieren-führen. Auch eine negative Wirkung auf die Haut hat, kann allergische Reaktionen auftreten, und das System wird Klärschlamm zu sammeln. Neben den für die menschliche Gesundheit schädigen, das Eisen im Wasser führen zu solchen Konsequenzen, wie das Auftreten von Flecken auf Sanitär-gelbe wuchert Rohre und Korrosion, einer deutlichen Reduzierung der Produktqualität und Schäden an den Geräten am Arbeitsplatz [36].

Eisen ist für den Menschen ein wichtiger Mineralstoff. Seine zentrale Bedeutung ist die Beteiligung im sauerstoffübertragenden roten Blutfarbstoff Hämoglobin. Eisen wird jedoch kaum aus dem Wasser heraus vom Körper aufgenommen, der vorwiegende Aufnahmeweg ist die Nahrung. Auf jeden Fall ist ein erhöhter Eisenwert im Wasser nicht gesundheitsschädlich. Zu beachten ist jedoch, dass Eisen in der Regel von Mangan begleitet wird. Zwar ist auch Mangan ein essentielles

Spurenelement, es gibt allerdings Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen stark manganhaltigem Trinkwasser und neurologischen Schäden bei älteren Menschen und Kindern. Eisenmangel hat Anämie (Blutarmut) zur Folge, die sich in Müdigkeit, Kopfschmerzen und verminderter Leistungsfähigkeit äußert. Auch das Immunsystem wird geschwächt. Bei Kindern hat sie einen negativen Einfluss auf die mentale Entwicklung dieser, verursacht übermäßige Reizbarkeit und Lernschwierigkeiten. Bei Eisenmangel, der vor allem bei Kleinkindern, Schwangeren und menstruierenden Frauen vorkommt, werden häufig lösliche Eisen(II) salze gegeben [39].

Der Grenzwert für Eisen im Trinkwasser beträgt nach der Trinkwasserverordnung 0,2 mg/l, der für Mangan 0,05 mg/l. Kleine Anlagen zur Trinkwasserproduktion (Hausbrunnen) dürfen jedoch ausnahmsweise Werte bis 0,5 mg/l Eisen und 0,2 mg/l Mangan erreichen, wenn die Ursache an den Bodenverhältnissen liegt. Der Grenzwert ergibt sich vorwiegend aufgrund der Einschränkung der Gebrauchseigenschaften des Wassers, sowie des unangenehm metallischen Geschmacks von eisenhaltigem Wasser. Die WHO (Weltgesundheitsorganisation) hält einen Grenzwert für Eisen aufgrund gesundheitlicher Bedenken nicht für erforderlich [39].

Eisenhaltiges Wasser führt zu Ablagerungen in Brunnen, Pumpen und Wasserleitungen und damit zur Brunnenalterung, die das Nachlassen der Brunnenleistung beinhaltet. Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Brunnen werden deutlich beeinträchtigt. Hohe Kosten zur Reinigung der Pumpen sowie für die Regenerierung oder Neuerstellung der Brunnen sind die Folge.

## Eisen im Wasser

Eisen ist das häufigste sog. Übergangsmetall auf der Erdoberfläche. Darüber hinaus gilt es als essentielles Spurenelement im menschlichen Organismus und besteht sowohl als Baustein des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin und als Muskelfarbstoff Myoglobin. Das Eisen in natürlichen Gewässern kann in Form von zwei- und dreiwertigen Ionen, Kolloide und organischen anorganischen Ursprungs, wie  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , komplex Verbindungen Humate und Fulvinsäuren sowie fein verteilte Gülle. In das Grundwasser gelangt Eisen hauptsächlich durch Reduktion von dreiwertigen Eisenverbindungen oder durch Oxidation von Eisensulfiden wie Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ). Die Oxidation erfolgt durch Nitrat (Denitrifikation) oder Luftsauerstoff. Bei geringem pH-Wert (unter 5,1) kann Eisen aus Tonmineralen oder Eisensulfiden heraus gelöst werden. Diese chemischen Vorgänge sind sehr komplex. Das Schwermetall Eisen tritt in Form seiner Verbindungen weltweit in allen Bodenformen auf. Als Oxid, Hydroxid, Carbonat und Sulfid reichert es sich in großen Erzlagern an. Nach dem Aluminium gilt es als das zweithäufigste Metall auf der Erde und ist am Aufbau der Erdrinde als vierthäufigstes Element zu 4,7% beteiligt [34].

Eisen ist ein chemisches Element mit dem Elementsymbol Fe und der Ordnungszahl 26. Eisen ist das häufigste, das sogenannte Übergangsmetall auf der Oberfläche. Eisenionen liegen meist in Form der folgenden Salze: Eisenhydrogencarbonat  $\text{FeHCO}_3$ , Eisenchlorid  $\text{FeCl}_2$ , Eisensulfat  $\text{FeSO}_4$  und Eisennitrat  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ .

Eisen ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ) ist in Spuren in fast allen natürlichen Gewässern anzutreffen, in "reduziertem Grundwasser" häufig 1-3 mg/l, manchmal bis zu 10 mg/l  $\text{Fe}^{2+}$ . Eisen(II)-Verbindungen bleiben unter folgenden Bedingungen in Lösung: Sauerstoffsättigung unter 50%, Anwesenheit von zersetzbarem organischem Material, hoher Gehalt an freiem  $\text{CO}_2$ , pH-Wert unter 7,5. Eisen(II)-Ionen findet man in natürlichen Wässern, wenn sich diese im sog. «reduzierten» Zustand befinden, also sauerstofffrei sind. Daneben kann Eisen aber auch in gelöster Form von Humuskomplexen in Lösung gehalten werden. Gelöstes Eisen stellt in den Wässern stets eine potentielle Gefahr dar, da seine Verbindungen zumindest in freier Form sehr

leicht hydrolysieren und durch Luftsauerstoff zu Eisen(III)-Oxidhydrat oxidiert werden, das unlöslich ist und an unliebsamen Stellen ausfallen und so zu Störungen Anlass geben kann. Dreiwertiges Eisen bildet ferner oft kolloide Verbindungen [40].

Beim Austritt aus der Erdoberfläche erfolgt rasch Oxidation, wobei zunächst kolloide, opaleszierende Lösungen entstehen und schließlich Eisen(III)-Hydroxid ausfällt. In Moorwasser kommt Eisen in komplexer organischer Bindung vor. An der Ausfällung des Eisens sind vielfach Eisenbakterien der Gattung Thiobacillus beteiligt. Bereits 0,3 mg/l  $\text{Fe}^{2+}$  verursachen einen eigenartigen metallischen Geschmack. In Leitungssystemen bilden sich, besonders bei Anwesenheit von Eisenbakterien, Ablagerungen und Verkrustungen [40].

In Rohrleitungen können sich über einen längeren Zeitraum dermaßen starke Ablagerungen bilden, dass die Leitungen nur noch sehr geringe Mengen Wasser durchlassen oder sogar komplett verstopfen. Eisen im Trinkwasser ist gesundheitlich unbedenklich, führt aber durch die starke Braunfärbung und Trübung des Wassers zur sensorischen Beeinträchtigung der Wasserqualität. Das nicht im Wasserwerk entfernte Eisen kann sich in den Rohrleitungen ablagern und bei Strömungsänderungen aufgewirbelt werden und zu Beanstandungen bei der Wasserentnahme am Wasserhahn führen. Der Grenzwert für den Indikatorparameter Eisen liegt bei 0,2 mg/l [40].

## Enteisenung

### Eisentypen

- Ferrous. Das Eisen dieser Art ist sehr gut wasserlöslich [39].
- Ferric. Dieses oxidierte Eisen kommt in der Flüssigkeit in kolloidaler Form (feine Teilchen von roter Farbe) vor. Oft ist auch die wasserhaltigen dreiwertigen Eisen des zweiwertigen Typs vorhanden. Weiterhin kann das Absetzen der roten Partikel durch die Bildung von Eisen- und später ansteigt beizufügen [39].
- Bakterielle. Er vertritt die lebenden und toten Bakterien und deren Abfallprodukte und Shell.

Zweiwertige Eisenionen kommen meistens als folgende Salze vor: Eisenhydrogencarbonat  $\text{FeHCO}_3$ , Eisenchlorid  $\text{FeCl}_2$ , Eisensulfat  $\text{FeSO}_4$  und Eisennitrat  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ . Diese werden zu Eisen(III)-Hydroxid oxidiert [39].



Damit das unlösliche Eisen(III)-Hydroxid ausfällt muss der pH-Wert mindestens über 5,5 liegen, besser noch über 6,0-6,5. Bei der Gleichung 2 erhält man aber nur dann einen pH-Wert größer 6,5 [40].



Es besteht aber auch die Möglichkeit den pH-Wert mit alkalischen Verbindungen, z.B. mit Natronlauge zu erhöhen.



## Methoden der Wasseraufbereitung von Eisen

Dieser **Ionenaustausch**, dessen Wesen darin besteht, zu ersetzen, während der Umsetzung von speziellen Harzen für die Natriumionen und der Umkehrosmose wird ihr Prinzip, eine Membran Verzögern des gelösten Eisens zu verwenden. Es sollte jedoch bewusst sein, dass diese Methode nicht in dem Fall, dass die Wasserhärte auf einem normalen Niveau zu arbeiten. Für Wasserreinigungssystem von Eisen durch Ionenaustausch beinhaltet einen Rückgang dieses Indikators. Die Methode gilt nur für einen begrenzten pH-Bereich. Darüber hinaus wirkt sich negativ auf die organischen Substanzen in Wasser vorhanden sind, können sie die Bakterien auf dem Filter führen [34].

**Chemische Methode** der Wasserreinigung wird oft zu reinigen das Eisen in Lösung unter Verwendung eines Oxidationsverfahren verwendet. Es beinhaltet die Verwendung von Oxidationsmitteln wie Kaliumpermanganat, Chlor, Sauerstoff und Ozon. Mit ihrer Hilfe beschleunigen den Prozess der Umwandlung in Eisen-III gelöst und das Hinzufügen der Wasser Koagulantien (Chemikalien) fördert die Ausfällung von Teilchen. Dieses Prinzip wird immer häufiger in großen Behandlungsanlagen eingesetzt.

**Biologische Methode** ist die Umwandlung der gelösten Eisen in Oxidform von Eisenbakterien ab. Sie sind für den Menschen ungefährlich, anders als ihre Abfallprodukte. Von Eisen in der Eisengehalt von 10 bis 30 mg / l aktiv, kann jedoch die Entwicklung und Schadstoffgehalt unter diesen Indikationen. Für Mikroorganismen, die üblicherweise vorhanden ist, ist es notwendig, um eine saure Umgebung zu einem niedrigen Niveau zu halten, während sichergestellt wird, dass die Zufuhr von Sauerstoff aus der Luft. Abschließend entfernt biologische Eisenentfernung Verfahren der Abfallprodukte von Eisen durch Adsorption, dann wird das Wasser behandelt, antibakterielle Strahlen vollständig klare Flüssigkeit. Selbstverständlich ist dieses Verfahren umweltfreundlich und effizient, aber es hat einen großen Nachteil hat: die niedrige Rate des Prozesses. Zusätzlich zu der

Reinigungsleistung wurde auf ein geeignetes Niveau, ist es notwendig, eine große Behandlungskapazität haben. Selbstverständlich ist dieses Verfahren umweltfreundlich und effizient, aber es hat einen großen Nachteil hat: die niedrige Rate des Prozesses. Zusätzlich zu der Reinigungsleistung wurde auf ein geeignetes Niveau, ist es notwendig, eine große Behandlungskapazität habe [40].

**Oxidation von Eisen mit Sauerstoff.** Eisen(II) liegt meist in der Form Eisenhydrogencarbonat ( $\text{FeHCO}_3$ ) vor. Daneben findet man noch Eisenchlorid  $\text{FeCl}_2$ , Eisensulfat  $\text{FeSO}_4$  und Eisennitrat  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ . Die Oxidation von Fe(II) mit Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) zu dem höherwertigen dreiwertigen Eisenhydroxid, bekannt als Eisenocker ( $\text{Fe}[\text{OH}]_3$ ), erfolgt vereinfacht nach:



Damit eine Oxidation stattfindet kann, sollte das Wasser mindestens einen Sauerstoffanteil von 0,15mg je mg Eisen und einen pH-Wert von 6 aufweisen. Durch Zugabe von Natronlauge oder einer vorangehenden Filterung über Calciumkarbonat kann der pH-Wert eingestellt werden [35].

Da mehr und Filterung neue Portionen Wasser in der Zusammensetzung des Films wird reduziert Oxidgehalt  $\text{MnO}_2$  und eine wachsende Anzahl von Oxid  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Oxidative Fähigkeit der Folie ausgeht mit der Prävalenz in seiner Zusammensetzung Oxid  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  und die Blockierung der aktiven Fläche in Eisenverbindungen durch Adsorption. Diese Methode wird empfohlen, Enteisung Verwendung bei niedrigen pH-Wasser, einen geringen Gehalt an Schwefelwasserstoff und Salze Ammonium [37].

Die Methode der Filtration durch die Last mit der katalytischen Wirkung ist nicht weit verbreitet in unserem Land verwendet aufgrund der relativ hohen Kosten von Manganchlorid und Kaliumpermanganat, die für die Herstellung und Regeneration von Filtermedien. Jedoch Ausführungs Dieses Verfahren wird von einigen Unternehmen in der Herstellung von Filtern zur Reinigung Wasser [37].

Der Anstieg des Eisengehalts ist im Trinkwasser ein ästhetisches Problem wegen des typischen rotbraunen Wassers. Aber von einem technischen Standpunkt aus gesehen, ist dieser Befund mit gewissen Risiken verbunden. Das gelöste Eisen im

Wasser stellt eine potentielle Gefahr, weil seine organischen Verbindungen sehr leicht hydrolysiert sind und durch Luftsauerstoff zu Eisen-(III) oxidiert werden, die unlöslich sind.

Eisen im Trinkwasser ist schädlich für die Gesundheit. Der Grenzwert für den Indikator von Eisen beträgt 0,2 mg / l. Der Tagesbedarf ist für die Männer etwa 10 mg pro Tag, bei Frauen etwa 15 mg pro Tag. Eisen kann in der Leber ansiedeln und verschiedene Krankheiten verursachen.

Um Eisen aus Wasser zu entfernen kann das zweiwertige Eisen zur dreiwertigen Form oxidiert werden, was durch Hydrolyse entstehen. Die Oxidation kann durch Sauerstoff oder die Anwendung von Oxidationsmitteln, wie zum Beispiel Chlor oder Kaliumpermanganat bewirkt werden. Die Geschwindigkeit dieser Reaktion ist vom pH-Wert abhängig und vollzieht sich im sauren Milieu langsamer als im basischen.

Eisen stört die Trinkwassergewinnung durch seine färbenden Eigenschaften sowie die Fällung von schwerlöslichen Eisenhydroxiden (Verockerung).