

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ХМУРЧИК ВАДИМ ТАРАСОВИЧ

**ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГРУНТОВ
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение

Диссертация на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Научный консультант
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Середин Валерий Викторович

Пермь – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГРУНТА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	12
1.1. Мелиорация пород и грунтов, проблемы и задачи.....	12
1.2. Общие представления о воздействии микроорганизмов на грунт.....	19
1.3. Биотехнология и задачи, стоящие перед ней	33
1.4. Основы методологии формирования состава и свойств грунта биотехнологическими методами	38
Глава 2. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ТВЕРДОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА.....	43
2.1. Воздействие микроорганизмов на твердую компоненту грунта	43
2.2. Формирование состава твердой компоненты дисперсного грунта.....	61
2.2.1. Оценка состояния грунта	61
2.2.2. Оценка микробной составляющей грунта.....	62
2.2.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов	67
2.2.4. Разработка технологии формирования состава и свойств твердой компоненты грунта	72
Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ЖИДКОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА.....	82
3.1. Подземные воды, загрязненные углеводородами.....	82
3.1.1. Микроорганизмы и углеводородное загрязнение подземных вод	82
3.1.2. Формирование состава подземных вод, загрязненных углеводородами.....	89
3.1.2.1. Оценка состояния грунта	90
3.1.2.2. Оценка микробной составляющей грунта.....	102
3.1.2.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов	105

3.1.2.4. Разработка технологии формирования состава и свойств жидкой компоненты грунта	109
3.2. Жидкая компонента грунта породных отвалов горнодобывающей промышленности.....	112
3.2.1. Образование химического состава дренажных вод породных отвалов	112
3.2.2. Отвалы пород Кизеловского угольного бассейна	136
3.2.3. Формирование состава жидкой компоненты грунта породных отвалов	158
3.2.3.1. Оценка состояния грунта	158
3.2.3.2. Оценка микробной составляющей грунта.....	159
3.2.3.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов	168
3.2.3.4. Разработка технологии формирования состава и свойств жидкой компоненты грунта	171
Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ГАЗОВОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА	177
4.1. Микроорганизмы и газовая компонента грунта	177
4.1.1. Углеводородокисляющий «бактериальный фильтр».....	177
4.1.2. Углекисло-водородный «бактериальный фильтр».....	188
4.2. Микроорганизмы и газовая компонента обводненного грунта	191
4.2.1. Микробиологические процессы в обводненном грунте	191
4.2.2. Формирование состава газовой компоненты обводненного грунта..	203
4.2.2.1. Оценка состояния грунта	203
4.2.2.2. Оценка микробной составляющей грунта.....	213
4.2.2.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов	231
4.2.2.4. Разработка технологии формирования состава и свойств газовой компоненты грунта	236
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	239
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	241
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	304

Приложение А. Журнал экологической рекогносцировки.....	305
Приложение Б. Протоколы химического анализа воды и грунта в районе разлива газоконденсата.....	312
Приложение В. Протоколы химического анализа грунта отвала	318
Приложение Г. Протоколы химического анализа проб поверхностных и подземных вод	322
Приложение Д. Результаты исследований органического вещества в подземных и поверхностных водах	452
Приложение Е. Результаты газогеохимических исследований грунта земляной плотины	473

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Известно, что микроорганизмы, являясь составной частью биотической компоненты грунта, широко распространены в грунтах разного возраста и генезиса. Потребляя из грунта необходимые им химические элементы и питательные вещества и продуцируя метаболиты различной природы, микроорганизмы изменяют состав и свойства твердой, жидкой и газовой компонент грунта, что в свою очередь приводит к изменению его прочностных и деформационных свойств. Это воздействие микроорганизмов на грунт может иметь как положительные, так и отрицательные последствия для устойчивости инженерных сооружений.

Изучением воздействия микроорганизмов на грунт занимается достаточно ограниченное число исследователей. При этом большее внимание уделяется изучению негативного воздействия микроорганизмов на свойства грунта, а именно: снижению его прочностных и деформационных свойств. Так, согласно данным Р.Э. Дашко, в результате жизнедеятельности микроорганизмов произошло снижение прочности суглинков в основании Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге, что привело к неравномерной осадке здания, которая наблюдалась уже на этапе строительства, и образованию трещин. При этом перепад высот грунта в результате деформации составил 0,85 м. Активизация жизнедеятельности микроорганизмов в глинистых грунтах приводит к их переходу в квазипластичное состояние. Развитие микроорганизмов в песчаном грунте может придавать ему плавунные свойства, что отмечалось В.В. Радиной еще в 70-е годы прошлого века. Образование в результате жизнедеятельности микроорганизмов малорастворимых в воде газов, таких как азот, водород, метан, и их накопление в песчано-глинистых грунтах вызывает изменение их напряженно-деформированного состояния и может приводить как к газо-грязевым выбросам, так и деформации подземных сооружений. Известна и коррозионная

активность микроорганизмов по отношению к строительным материалам и конструкциям.

Положительное воздействие микроорганизмов на грунт изучено гораздо хуже. Обычно выделяют два таких воздействия, которые используются на практике. Первое – способность грунтов к самоочищению от различных загрязнений в результате жизнедеятельности микроорганизмов грунта, что нашло достаточно широкое применение во всем мире в природоохранных биотехнологиях. Второе – это индуцированное микроорганизмами осаждение кальцита.

Однако, широкие метаболические возможности микроорганизмов, а они способны использовать в процессе своей жизнедеятельности практически все природные соединения и обитают в условиях разных температур, солености, величин окислительно-восстановительного потенциала и разных кислотно-щелочных условиях, – все это является предпосылкой для более широких исследований воздействия микроорганизмов на грунт. Понимание принципов и механизмов воздействия микроорганизмов на грунт может позволить использование микроорганизмов грунта для изменения его свойств в заданном направлении, т.е. для технической мелиорации грунта. Таким образом, вопросы формирования заданных свойств грунта путем воздействия на микробное сообщество остаются открытыми. Исследования же в этом направлении, реализованные в виде технологий, позволят повысить устойчивость и надежность зданий и сооружений.

Биотехнологические методы могут быть более финансово затратными в сравнении с традиционными методами мелиорации грунта. Однако, они могут оказаться единственно возможными для применения в условиях трудной технической доступности и условиях особых санитарно-гигиенических или иных требований.

Цель исследования – разработка методологии формирования состава и заданных свойств грунтов биотехнологическими методами.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Разработана методология формирования заданных свойств твердой, жидкой и газовой компонент грунта;
2. Разработан биотехнологический метод формирования заданных состава и свойств твердой компоненты дисперсного грунта;
3. Разработан биотехнологический метод формирования заданного состава жидкой компоненты грунта;
4. Разработан биотехнологический метод формирования заданного состава газовой компоненты обводненного грунта.

Объектом исследования являются природные и природно-техногенные грунты.

Предметом исследований являются закономерности формирования заданных свойств грунта при помощи микробиологических процессов.

Личный вклад автора. Защищаемая работа является результатом многолетних (1990–2021 гг.) исследований автора в качестве исполнителя и руководителя научно-исследовательских работ. Основные результаты получены лично автором либо коллективом сотрудников с учетом его идей и разработанных методических приемов.

Основные положения работы были разработаны в рамках научно-исследовательских и договорных научно-производственных работ, проводившихся Институтом экологии и генетики УрО РАН, г. Пермь (1990–1998 гг.), Естественнонаучным институтом Пермского государственного национального исследовательского университета (1999–2021 гг.). Автор самостоятельно планировал научные исследования, участвовал в них, выполнял обработку материалов, анализировал и обобщал результаты и, в конечном итоге, написал диссертационную работу.

Научная новизна работы:

– обобщены результаты отечественных и зарубежных исследований изменения свойств твердой, жидкой и газовой компонент грунта в результате жизнедеятельности микроорганизмов;

- на основе обобщения опубликованных и собственных лабораторных данных разработана методология формирования заданных состава и свойств грунта биотехнологическими методами с использованием микроорганизмов, которая была опробована в полевых условиях;

- разработан биотехнологический метод повышения деформационных и снижения фильтрационных характеристик дисперсного грунта активированием жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов, приводящей к осаждению кальцита в поровом пространстве грунта;

- разработан биотехнологический метод повышения устойчивости склона породного отвала угольной промышленности активированием жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих микроорганизмов, приводящей к нейтрализации кислой жидкой компоненты грунта отвала;

- для случаев поступления в обводненный грунт грунтовой плотины повышенных концентраций органических соединений в результате аварийных утечек и сбросов, приводящих к усилению в грунте газообразования и снижению коэффициента запаса плотины, разработан биотехнологический метод подавления газообразования активированием жизнедеятельности железовосстанавливающих микроорганизмов, потребляющих органические соединения без образования газообразных продуктов.

Достоверность научных положений. Исследование и анализ проходящих в грунтах микробиологических процессов показали, что эти процессы способны изменять состав и свойства грунтов, что потребовало применения различных микробиологических, химических и геологических методов исследования с использованием современной приборной базы ПГНИУ. Проведены оригинальные лабораторные исследования, статистическую обработку результатов которых проводили с помощью современных статистических программ. Достоверность полученных результатов лабораторных исследований была подтверждена в ходе полевых и модельных экспериментов. Результаты прошли апробацию на международных и российских конференциях и симпозиумах. Защищаемые

положения диссертации достаточно полно аргументированы приведенным в работе фактическим материалом.

Практическая значимость и реализация результатов работы.

Практическая значимость результатов заключается в разработке методологии формирования свойств грунта биотехнологическими методами с помощью микроорганизмов самого грунта, что позволяет целенаправленно изменять свойства грунта, формируя их в соответствии с инженерно-геологическими требованиями. Биотехнологические методы формирования свойств грунта могут найти широкое применение как в условиях плохой технической доступности к объектам, так и в случаях предъявления особых, например санитарно-гигиенических, требований к условиям проведения работ по мелиорации грунта.

Всего по результатам работы получено 6 патентов на изобретения и поданы 3 заявки на изобретения. Правами на данные патенты владеют такие организации, как ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», ООО «Природоохранные технологии», ФГАОУ ВО ПГНИУ.

Результаты теоретических и практических исследований, изложенных в диссертации, могут явиться основой специализированного учебного курса «Современные методы технической мелиорации грунтов» для магистров кафедры инженерной геологии и охраны недр геологического факультета ФГАОУ ВО Пермский государственный национальный исследовательский университет.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Методология формирования заданных состава и свойств грунта, заключающаяся в том, что первоначально оцениваются состав и свойства природного или техногенного грунтового массива, затем в нем выявляются специализированные группы микроорганизмов, разрабатываются технологии активации микроорганизмов, включающие в себя определение состава активатора и технологические схемы обработки грунта. После чего исследуются закономерности изменения свойств грунта в зависимости от технологических схем активации, и на основании выявленных закономерностей определяется

оптимальная технология формирования заданных свойств твердой, жидкой и газовой компонент грунта.

2. Формирование заданных свойств твердой компоненты дисперсного грунта, заключающееся в оценке состава и свойств природного грунта, выявлении в нем микроорганизмов, индуцирующих образование кальцита, выборе технологий их активирования и, как следствие, получении заданных физико-механических и физико-химических свойств грунта.

3. Формирование водородного показателя жидкой компоненты грунта, заключающееся в оценке состава и свойств природного грунта, выявлении в нем сульфатовосстанавливающих микроорганизмов, их активировании и, как следствие, снижении кислотности порового раствора и содержания сульфатов в нем.

4. Формирование заданного состава и свойств газовой компоненты грунта, заключающееся в том, что при поступлении в грунт органического вещества увеличивается газообразование за счет метана, что снижает прочностные и деформационные свойства грунта; для формирования заданных свойств газовой компоненты грунта в нем выявляют и активируют железовосстанавливающие микроорганизмы, которые потребляют органическое вещество и изменяют содержание метана в газовой компоненте грунта. С уменьшением в грунте содержания метана уменьшается пористость грунта и увеличивается его прочность, что повышает устойчивость инженерного сооружения.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных конференциях, в том числе: International Symposium on Subsurface Microbiology – The United Kingdom, 1993, Switzerland, 1996, USA, 1999, 2005, Denmark, 2002; International Geological Congress – China, 1996; «Научно-технический потенциал Западного Урала для конверсии военно-промышленного комплекса» – Пермь, 2001; «Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа» – Москва, 2001, 2002, 2004, 2005; «Геохимия биосферы» – Ростов-на-Дону, 2001; «Дегазация земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ» – Москва, 2002, 2003, 2006, 2008;

«Biosphere origin and evolution» – Новосибирск, 2005, Greece, 2007; «Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров, биоминералогия» – Сыктывкар, 2007; Всеросс. совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока – Иркутск, 2012, Якутск, 2015; «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» – Москва, 2013; «Сергеевские чтения» – Москва, 2014, 2016, Пермь, 2019; IAEG Congress - Italy, 2014, USA, 2018; Всеросс. чтения памяти акад. А.Е. Ферсмана – Чита, 2014, 2016; «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии» – Санкт-Петербург, 2014; Goldschmidt Conference – Japan, 2016, Spain, 2019; IMWA Conference – Germany, 2016, South Africa, 2018, Пермь, 2019, New Zealand, 2020; «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» – Улан-Удэ, 2020.

Основные результаты исследований отражены более чем в 120 публикациях, в том числе 14 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, 17 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных *Web of Science* и *Scopus* и 2 монографиях (в соавторстве). По результатам исследований получено 7 патентов на изобретения и 2 заявки на изобретения находятся на рассмотрении.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 33 таблицы и 29 рисунков. Список литературы содержит 570 наименований, из них 398 на иностранных языках. Диссертационная работа выполнена на базе ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» и ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Глава 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГРУНТА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

1.1. Мелиорация пород и грунтов, проблемы и задачи

Техническая мелиорация грунтов – это область инженерной геологии, разрабатывающая теорию и методы искусственного улучшения пород в соответствии с запросами различных видов строительства и применительно к различным типам пород [Воронкевич и соавт., 1981]. При этом термином грунт принято обозначать почвы и горные породы, изучаемые как основания, как среда или как естественные материалы, используемые в целях строительства [Приклонский, 1949, Чаповский, 1975]. «Грунт» – это специальный инженерно-геологический термин, подразумевающий минеральную или минерально-органическую, органоминеральную, многокомпонентную, многофазовую систему, которая включает твердую, жидкую и газообразную компоненты (как косные, так и живые) и изучается в инженерно-геологическом отношении. Знания о современных особенностях грунтов, закономерностях формирования и преобразования под влиянием природных и антропогенных процессов являются решающими при решении инженерно-геологических задач в научном и прикладном аспектах [Трофимов и соавт., 2005].

Отдельные идеи и технические решения в области искусственного улучшения горных пород возникали еще в начале XIX века. Характерная особенность того времени состояла в том, что вопросами изучения пород занимались специалисты-строители. И если геологи изучали горные породы как естественноисторические образования, увязывали их свойства с генезисом, минералогическим составом, условиями залегания и другими геологическими особенностями, то строители больше обращали внимание на вопросы прочности пород вне связи с их происхождением и составом. Академик А.П. Павлов

объединил естественноисторический и инженерный подходы к изучению пород и впервые дал представление о грунтах как горных породах, слагающих верхнюю часть земной коры. Он разработал классификацию грунтов, построенную на рассмотрении сил сцепления в грунтах, от которых зависят такие их свойства, как сжимаемость и размываемость. Позднее Ф.П. Саваренский предложил классификацию, учитывающую основные физические свойства пород, их отношение к воде и механические свойства, но слабо учитывающую генезис и петрографический состав пород. Созданием дорожно-исследовательского бюро Н.И. Прохоровым, П.А. Земятченским и Н.Н. Ивановым были впервые организационно оформлены совместные научные и производственные работы инженеров-дорожников с геологами. К концу 30-х годов XX века техническая мелиорация грунтов в нашей стране сформировалась как самостоятельная отрасль науки и техники. В эти годы были учреждены специальные кафедры при крупнейших геологических вузах страны и появились первые учебники по инженерной геологии Н.В. Бобкова и Н.Н. Маслова. В.А. Приклонский изложил основы инженерной мелиорации грунтов и описал инженерно-геологические свойства основных генетических типов горных пород СССР. Он переработал и дополнил классификацию пород Ф.П. Саваренского. На стыке физико-математических, строительных и геологических наук возникла новая наука – механика грунтов, начало которой положили исследования К. Терцаги. Механика грунтов рассматривала общие закономерности, которые вытекают из применения к горным породам законов теоретической и строительной механики и мало учитывала или совсем не учитывала геологическую специфику грунтов. Изучение инженерно-геологических свойств пород территории СССР было продолжено И.В. Поповым. М.М. Филатов и Ф.П. Саваренский указывали на обязательность исследования физико-механических свойств пород на основе генетического подхода к ним. М.М. Филатов сформулировал научное положение, что при создании любых методов улучшения свойств грунтов в целях коренного, качественного преобразования этих свойств всегда необходимо всесторонне учитывать свойства тонкодисперсной части грунта, емкость обмена и состав

поглощающего комплекса, а также генетические особенности грунта, его минерально-химический состав. В этой связи изучались характер связей, возникающих в искусственно улучшенных грунтах, и вновь образовавшаяся структура, изменение химико-минералогического состава и дисперсности грунтов и др. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные его учениками, Е.М. Сергеевым, С.С. Морозовым, В.М. Безруком, и многими другими показали, что для успешного решения различных вопросов технической мелиорации грунтов необходимо подходить с позиций изучения грунта как определенного природного образования, свойства которого могут быть надежно изменены лишь исходя из современных представлений о составе, структуре и текстуре горных пород различного петрографического состава и генезиса. А.В. Гончаровой в 1973 г. предложена инженерно-геологическая классификация методов технической мелиорации, учитывающая класс структурных связей, генетический тип и важнейшие свойства изменяемых пород. Согласно классификации, все грунты целесообразно разделить на три группы по характеру внутренних связей:

- О скальные, полускальные и твердые осадочные грунты с жесткими кристаллизационными связями различного генезиса;
- О рыхлые несвязные крупнообломочные и песчаные грунты;
- О связные грунты с межчастичными водно-коллоидными связями (лессовые, глинистые, органогенные грунты и почвы) [Фролов, Коротких, 1990].

Современные гидротехнические сооружения, предприятия горной промышленности и промышленные объекты все чаще создаются в сложных инженерно-геологических условиях, считающихся ранее непригодными даже для менее ответственных сооружений. Сложные грунтовые условия мешают нормальному ходу работ, удорожают строительство и удлиняют его сроки. Главная задача грунтоведения и инженерной геологии заключается в оценке геологической обстановки и прогнозе инженерно-геологических процессов и явлений применительно к требованиям различных видов производственной деятельности человека. Несоответствие инженерно-геологических условий

требованиям конкретных видов сооружений приводит к необходимости проведения специальных мероприятий по сохранению устойчивости проектируемых сооружений и обеспечению их нормальной эксплуатации в течение всего срока службы. Различают два типа мероприятий – инженерно-строительные и инженерно-геологические.

Инженерно-строительные мероприятия направлены главным образом на борьбу с проявлениями нежелательных инженерно-геологических процессов и явлений путем выбора надлежащей конструкции сооружения и его сопряжения с горными породами с целью исключения или сведения к минимуму опасных для сооружения деформаций [Приклонский, 1949, Воронкевич и соавт., 1981].

В комплекс инженерно-геологических работ входит выбор наиболее рациональных способов борьбы с основными причинами возникновения и развития отрицательных с инженерно-геологической точки зрения процессов и явлений путем искусственного влияния на ход как естественных, так и искусственно вызываемых сооружением процессов [Приклонский, 1949, Воронкевич и соавт., 1981].

Из инженерно-геологических мероприятий важнейшую роль играет искусственное изменение свойств горных пород [Приклонский, 1949]. Физическое состояние грунтовых систем определяется условным равновесием по отношению к суммарному воздействию таких факторов, как давление, температура, количество и виды воды, состав, динамика и концентрация поровых растворов. Любое преобразование грунта возможно только в результате нарушения сложившегося равновесия путем изменения одного или нескольких факторов, определяющих современные условия его существования в поверхностной зоне земной коры [Воронкевич, 2005]. Известно, что в основе большинства неблагоприятных инженерно-геологических явлений лежат свойства пород, влияющие на устойчивость сооружений, условия производства строительных и горных работ и развитие геологических процессов:

О пустотность, трещиноватость и пористость скальных пород и массивов;

О недостаточная плотность, отсутствие структурного сцепления и значительная обводненность рыхлых несвязных горных пород;

О высокая пористость и неводостойкость структурных связей лессовых пород при низкой естественной влажности;

О повышенное влагосодержание, малая плотность и специфика структурных связей глинистых пород [Приклонский, 1949, Сергеев, 1978, Теоретические..., 1985a].

Поэтому для улучшения свойств пород необходимо осуществить по крайней мере одно из мероприятий: увеличить плотность, снизить влажность, увеличить водостойкость существующих структурных связей, создать искусственные структурные связи, – то есть целенаправленно изменить их физико-механические свойства [Воронкевич и соавт., 1981]. Разработка теории и методов искусственного улучшения свойств пород в соответствии с запросами различных видов строительства и применительно к различным типам пород, как отмечалось выше, составляет существо технической мелиорации грунтов. Методы технической мелиорации используются на практике как в качестве самостоятельных мер, так и в сочетании с методами инженерно-строительных мероприятий. Подавление или ограничение влияния нежелательных инженерно-геологических процессов реализуется на основе искусственного улучшения состояния и физико-механических свойств грунта различными техническими приемами.

Современные методы мелиорации пород позволяют придавать связность сыпучим породам, монолитность скальным породам, разбитым многочисленными трещинами; увеличивать прочность глинистых и песчаных рыхлых пород; уменьшать пылимость глинистых пород на дорогах; понижать водопроницаемость; повышать механическую прочность разнообразных пород; повышать морозоустойчивость, устойчивость против агрессивных подземных вод; повышать плотность рыхлых пород; изменять консистенцию глинистых пород; обеспечивать организацию строительных работ и др. [Чаповский, 1975].

Главной проблемой технической мелиорации грунтов является разработка научно обоснованных методов прогноза и регулирования изменения состава, состояния и свойств пород, происходящих в результате их искусственного преобразования в целях предотвращения существующих и потенциально нежелательных инженерно-геологических процессов [Воронкевич и соавт., 1981]. Основная задача технической мелиорации грунтов – разработка теоретических основ и практических методов искусственного изменения свойств пород в сторону повышения их прочности, устойчивости, уменьшения трещиноватости, водопроницаемости и проч., применительно к конкретным требованиям проектирования и организации строительства различных сооружений [Чаповский, 1975].

Существует два основных направления в технической мелиорации грунтов: преобразование пород на месте их естественного залегания и переработка грунтов в целях получения грунтовых материалов. Соответственно все существующие методы искусственного воздействия на породы и почвы в строительных целях так же подразделяют на два класса: методы закрепления пород в естественном залегании и методы создания грунтовых материалов [Воронкевич и соавт., 1981]. Методы, входящие в первый класс, применяются для усиления оснований сооружений, увеличения устойчивости склонов, откосов и подземных выработок, создания противофильтрационных завес и уменьшения водопритоков к подземным сооружениям. Методы, относящиеся ко второму классу, используются для устройства оснований дорожных и аэродромных покрытий, создания земляных сооружений, устройства грунтовых свай, а также противофильтрационных экранов и ограждений [Рубцов и соавт., 2007]. Эффективность различных методов мелиорации, с одной стороны, определяется природой, интенсивностью и длительностью внешнего воздействия, а с другой стороны, она зависит от характера среды, в которой действуют внешние факторы, то есть от типа горных пород и инженерно-геологических массивов [Приклонский, 1949, Сергеев, 1978, Теоретические..., 1985a].

Процессы инженерно-геохимического преобразования пород развиваются во времени относительно медленно, но неизбежно влияют на состояние, свойства и инженерное поведение участков геологической среды. Характер и интенсивность процессов, а также их результаты контролируются инженерно-геологическими и геохимическими параметрами среды [Воронкевич, 2005]. При этом характер внутренних первичных структурных связей пород предопределяет различия их физико-механических и фильтрационных свойств и контролирует возможность и эффективность использования тех или иных методов искусственного воздействия в целях улучшения инженерного поведения пород [Воронкевич и соавт., 1981].

Увеличение объемов освоения пространства городов, расширение дорожного, гидротехнического, промышленного и гражданского строительства, а также увеличение числа техногенных катастроф требует адекватного расширения методов мелиорации грунтов [Рубцов и соавт., 2007]. В настоящее время обеспечение новых качеств или улучшение физико-механических показателей свойств грунтов достигается различными методами, которые можно объединить в три группы: физико-механические, физико-химические и химические. При этом применение того или иного метода определяется прежде всего геолого-генетическим типом грунта и характером структурных связей. Поэтому целесообразно выделять методы мелиорации: 1) скальных твердых пород; 2) рыхлых несвязных грунтов; 3) связных грунтов [Фролов, Коротких, 1990].

Использование для закрепления грунтов природных механизмов открывает широкие возможности для синтеза цементаобразующих веществ, отвечающих современным требованиям охраны геологической среды [Воронкевич, 2005]. При этом отмечается, что методы искусственного закрепления пород, созданные или усовершенствованные с учетом существа основных процессов, контролирующих геохимическое уплотнение и цементацию осадков и пород, – гидратации и гидролиза природных силикатов, миграции кремнезема и глинозема, биогенной (органогенной) мобилизации и аккумуляции вещества – являются геохимически оптимальными, что позволяет уменьшить до минимума агрессивное действие

геологической среды и обеспечивает длительное сохранение достигнутого эффекта, то есть долговечность закрепления, а также дает возможность прогнозировать скорость и степень изменения физико-механических свойств закрепленных пород. Поэтому современные методы искусственного закрепления пород должны опираться на такой механизм, при котором осуществляется воссоздание близких к природным веществ и их распределение в природной среде [Воронкевич и соавт., 1981].

По нашему мнению, такими «геохимически оптимальными» методами искусственного закрепления пород будут биотехнологические методы, которые используют процессы, осуществляемые микроорганизмами в природе, в том числе в грунтовых массивах.

1.2. Общие представления о воздействии микроорганизмов на грунт

Микроорганизмы – это самые массовые обитатели нашей планеты. Чрезвычайная гибкость метаболизма позволяет им жить практически повсеместно, в любых земных условиях, заселяя почти все элементы геологической среды [Дашко и соавт., 2011, 2014, Звягинцев, 1987, Кузнецов и соавт., 1962, Gold, 1992, Pedersen, 2000]. Микроорганизмы широко распространены в грунтах разного генезиса и входят в состав их биотической компоненты. Суммарное количество биотической составляющей в различных грунтах меняется в очень широких пределах, однако, установлена прямая зависимость общей численности микроорганизмов от содержания органического вещества [Fredrickson et al., 1989, Kaiser, Bollag, 1990]. Д.Г. Звягинцев (1983, 1987) на основании анализа поведения почвенных микробных популяций пришел к выводу, что в почве есть достаточное количество разнообразных микроорганизмов, которые способны разлагать различные вещества, однако для их оптимального развития необходимо создать определенные условия.

Продуктами жизнедеятельности микроорганизмов являются их биомасса, различные окислы, легко возвращающиеся в геохимические циклы, и газы. Исключительную роль микроорганизмов в биогеохимических процессах отмечали В.И. Вернадский (1980), С.Н. Виноградский (1952), Б.Л. Исаченко (1951) и другие отечественные исследователи [Звягинцев, 1987, Кузнецов и соавт., 1962, Мишустин, 1975]. Особенности физиологии микроорганизмов, их воздействие на минералы, органические вещества и газы дают все основания ожидать, что микроорганизмы окажут значительное влияние и на свойства других компонент грунта – твердой, жидкой и газовой, изменяя тем самым минеральный состав грунта, его структуру, физические, физико-механические и другие свойства.

Все микроорганизмы воздействуют на *твердую компоненту грунта*, используя для своего питания содержащиеся в нем минеральные элементы.

Твердый компонент грунтов складывается различными минералами, а также органическими и органо-минеральными соединениями. Поведение грунтов во многом определяется физическими, физико-химическими и механическими свойствами основных породообразующих минералов, которые, в свою очередь, зависят от особенностей кристаллической структуры этих минералов. В составе грунтов довольно часто встречается органическое вещество, присутствие которого даже в незначительном количестве может коренным образом изменить свойства грунта вследствие высокой физико-химической активности по отношению к минеральной составляющей грунта – обладая в основном кислыми свойствами, органическое вещество является активным агентом выветривания, разлагая силикаты и другие минералы [Теоретические..., 1985б].

Органические соединения, выделяемые микроорганизмами в процессе жизнедеятельности, обуславливают реакции комплексообразования, увеличивая тем самым растворимость минералов [Воронкевич и соавт., 1981]. Образование комплексных соединений значительно повышает миграционную способность многих химических элементов и нарушает обычную последовательность выделения элементов из растворов в виде их соединений [Щербина, 1980]. Микроорганизмы способны разрушать важнейшие минеральные компоненты

горных пород, такие как силикаты, алюмосиликаты и доломиты [Ehrlich, 1996]. Разрушение силикатов и алюмосиликатов значительно ускоряется в присутствии бактерий. Активными агентами разложения силикатных минералов являются и органические соединения, образуемые микроорганизмами. Способность микроорганизмов к разрушению силикатных минералов используется, например, при обогащении алюминиевого сырья, которое может быть реализовано по следующим направлениям: 1) обескремнивание некондиционных бокситов за счет избирательного разложения алюмосиликатов микроорганизмами или продуктами их жизнедеятельности; 2) разложение алюмосиликатов с переводом глинозема в жидкую фазу, из которой алюминий может быть извлечен разными методами [Андреев и соавт., 1976].

При биохимическом разложении, в отличие от чисто химического, концентрация элементов в растворе со временем значительно увеличивается, то есть бактерии разрушают и сами минералы, и покрывающие их пленки [Воронкевич и соавт., 1981]. Более активное воздействие на грунт обусловлено способностью микроорганизмов окислять и восстанавливать элементы с переменной валентностью, входящие в состав кристаллической решетки минералов, а также влиянием микробных метаболитов (серной и азотной кислот, органических кислот, слизей, щелочей, сероводорода и др.) [Ehrlich, 1996]. Переработка микроорганизмами огромных количеств восстановленных неорганических соединений часто приводит к изменению геохимической обстановки и отложению новых минералов. Особенно велика роль микроорганизмов в рудных и серных месторождениях [Ляликова, 1976]. На месторождениях серных и сульфидных руд в одних случаях микробиологические процессы приводят к разрушению руды и ухудшению ее технологических свойств, а в других – к выщелачиванию цветных и редких металлов. Эти процессы идут настолько активно, что издавна используются для добычи металлов гидрометаллургическим способом [Каравайко и соавт., 1976].

Микроорганизмы связывают ионы, присутствующие в поровом растворе, и ускоряют процессы нуклеации и роста кристаллов минералов даже при низкой

ионной силе порового раствора [Konhauser, Urrutia, 1999]. После начала нуклеации дальнейший рост или осаждение минералов может идти абиотически, что наблюдалось при осаждении аморфных железо-алюминиевых силикатов и слабо кристаллизованных минералов, таких как аллофан, имоголит и смектит [Urrutia, Beveridge, 1995, Ehrlich, 1996, Barton et al., 2001]. Микробиологическое новообразование минералов показано на ряде карбонатных, сульфидных, бокситовых, железистых отложений, имеющих в некоторых случаях масштабы месторождений [Болотина, 1985, Fortin, Langley, 2005].

Развитие микробной компоненты в грунтах увеличивает содержание тонкодисперсной фракции, способствует формированию тонкой пористости, снижению проницаемости и водоотдачи песчаных грунтов. Микроорганизмы, адсорбированные на частицах дисперсных пород, изменяют заряды частиц и их электроповерхностные свойства [Дашко и соавт., 2011]. Сорбция бактерий на поверхностях минералов песчаного грунта коррелировала с величиной общей свободной энергии поверхности минералов грунта, при этом наблюдалось возрастание количества водородсвязывающих функциональных групп на поверхности клеток [Chen, Strevett, 2001]. Отмечена бóльшая роль сил электростатического взаимодействия между клетками бактерий и частицами грунта по сравнению с силами Ван-дер-Вальса [Chen, Zhu, 2004]. Показана важность гидрофильно-гидрофобных взаимодействий для бактериальной адгезии на частицах [Bos et al., 2000, Rosenberg, Kjelleberg, 1986]. Сорбция бактериальных клеток и продуктов их метаболизма на глинистых частицах приводит к формированию биопленок, что значительно ослабляет интенсивность молекулярного взаимодействия между частицами, приводит к снижению прочности и показателей деформационных свойств [Дашко и соавт., 2011]. Биопленки состоят из клеток микроорганизмов, погруженных в матрикс из органических соединений различной природы, которые способствуют адгезии биопленок на минеральных частицах. Размеры и структура таких пленок определяются свойствами твердого субстрата, а также совокупностью внешних факторов, прежде всего, активностью гидродинамического режима

фильтрационного потока в грунтовой толще [Дашко и соавт., 2014]. В результате адсорбции микроорганизмов на глинистых минералах образуются агрегаты размером до 50–100 мкм и более, размер агрегатов увеличивается вместе с количеством микроорганизмов [Сергеев, 1978]. В ряде случаев под действием живого компонента изменяются пористость и водопроницаемость пород благодаря заполнению пор клеточной биомассой или нерастворимыми продуктами обмена, в результате чего повышается связность пород и уменьшается их водопроницаемость [Гольденберг, Квасников, 1974, Barbić et al., 1974, Li et al., 1993]. В лабораторном эксперименте развитие в порах песчаника культуры сульфатвосстанавливающих бактерий вызывало их закупорку и снижение проницаемости с 9,9 до 4,9 Дарси [Dunsmore et al., 2004]. Установлена экспоненциальная зависимость снижения общего сопротивления сдвигу глинистых грунтов и коэффициента фильтрации среднезернистых и мелкозернистых песков по мере повышения в них содержания биомассы микроорганизмов [Дашко и соавт., 2014]. В США был разработан метод борьбы с обводнением скважин, основанный на закачке в пласт сульфатвосстанавливающих бактерий вместе с компонентами, образующими в порах породы нерастворимый осадок сульфида железа [Сергеев, 1978]. Ряд органических экзометаболитов микроорганизмов обладает высокой клеящей способностью и принимает участие в формировании водопрочных агрегатов [Воронкевич и соавт., 1981]. Механическая прочность грунтов может уменьшаться за счет выделения микроорганизмами поверхностно-активных веществ. С другой стороны, при известных условиях микроорганизмы способны увеличивать механическую прочность грунтов, например, в результате жизнедеятельности железобактерий в сильногумифицированных водоемах и болотах образуются ожелезненные прослои песчаников [Сергеев, 1978]. Существуют данные об изменении в результате жизнедеятельности микроорганизмов таких свойств грунтов, как прочность на сдвиг, липкость, пластичность [Болотина, Сергеев, 1987]. Среди процессов, контролирующих геохимическое уплотнение и цементацию осадков и пород, Воронкевич и соавт.

(1981) выделяют биогенную (органогенную) мобилизацию и аккумуляцию вещества [Воронкевич и соавт., 1981].

Трансформация твердой компоненты обычно сопряжена с потреблением или выделением газов и, таким образом, с изменением *газовой компоненты грунта*.

Газы всегда содержатся в грунтах и часто оказывают заметное влияние на их свойства. Они активно вступают во взаимодействие с другими компонентами грунта, участвуя в различных физико-химических (окисление, восстановление, растворение) и биологических процессах, происходящих в грунтах [Теоретические..., 1985б]. Существующий газообмен между атмосферой и толщей грунтов направлен на выравнивание состава атмосферного воздуха и газовой компоненты грунтов [Сергеев, 1978]. Таким образом, газовая компонента – переменная величина, зависящая от строения, состава, влажности грунта, атмосферного давления, гидрогеологических и биологических условий. Воздух и газы в грунтах могут быть атмосферного, органического и химического происхождения. Кроме кислорода, азота и углекислого газа в грунтах часто содержатся тяжелые углеводороды, метан и сероводород, наибольшие скопления которых наблюдаются в сравнительно глубокозалегающих толщах земной коры [Чаповский, 1975]. В количественном отношении газовая компонента наиболее представительна в зоне аэрации, а в зоне насыщения, то есть ниже уровня грунтовых вод, ее содержание в грунтах невелико. Воздух и газы в грунте встречаются в свободном состоянии (в макропорах, трещинах, пустотах), в защемленном состоянии (в глинистых грунтах, в виде пузырьков в тонких порах), в растворенном состоянии (в воде, заполняющей поры грунта), в адсорбированном состоянии (на поверхности твердых частиц). Наличие в грунте защемленных или адсорбированных газов ведет:

- О к увеличению упругости дисперсного грунта, что повышает его прочность, уменьшает сжимаемость, понижает водопроницаемость;
- О к неравномерности замачивания, увлажнения и водонасыщения грунта в массиве;

- О к выщелачиванию и суффозионному выносу из грунта легкорастворимых солей, гипса, карбонатов и образованию карстовых пустот;
- О к возникновению химических реакций с образованием цементирующих растворов и литификации грунта [Фролов, Коротких, 1990].

В инженерно-геологическом отношении газовая компонента грунтов имеет большое значение, так как грунты с газовой компонентой отличаются по своим свойствам от тех же грунтов, не содержащих газы. Наиболее сильно влияет содержание газовой компоненты в порах на свойства глинистых грунтов, прочность и другие свойства которых изменяются в зависимости от соотношения в порах жидкой и газообразной компонент [Чаповский, 1975]. Газы в любом состоянии оказывают влияние на различные свойства грунтов. Физические характеристики газовой компоненты резко отличаются от аналогичных характеристик твердой и жидкой компонент грунта, поэтому газосодержание наиболее сильно влияет на такие физические характеристики грунта в целом, как плотность, проницаемость, физико-механические свойства, теплофизические параметры (теплоемкость, теплопроводность и проч.). При этом, чем больше газов в грунте, тем больше различаются свойства грунтов [Трофимов и соавт., 2005]. Растворенные в поровом растворе газы в зависимости от состава формируют ту или иную химическую агрессивность грунта. Наличие в грунте газовых пузырьков малого размера значительно влияет на изменение порового давления в ответ на приложенную нагрузку [Rebata-Landa, Santamarina, 2012]. Наличие в грунтах адсорбированных и заземленных газов обуславливает многолетнюю осадку насыпей из глинистых грунтов, деформации и разрывы земляных насыпей, уменьшение водопроницаемости грунтов [Сергеев, 1978].

Большую роль в грунтах играет газ, поступающий в грунт в растворенном состоянии с инфильтрующимися водами, часто обогащенными кислородом, а при определенных условиях и углекислым газом. Оба этих газа активно взаимодействуют с другими компонентами грунта, вызывая их окисление или растворение. Наибольшую активность эти процессы имеют в верхней части литосферы, где содержание растворенных газов максимально. По мере

проникновения воды в более глубокие горизонты содержание растворенных газов снижается, соответственно снижается и активность воды в окислительно-восстановительных реакциях и процессах растворения [Теоретические..., 1985б].

Образование микроорганизмами газообразных веществ при разложении органических и минеральных соединений имеет чрезвычайно широкое распространение в грунтах [Приклонский, 1949]. Процессы микробиологического образования метана протекают во многих экологических системах. Наличие специфической группы микроорганизмов, образующих метан, и их широкое распространение обуславливают присутствие значительных скоплений метана в верхней осадочной оболочке земной коры, где отсутствуют условия для его термокаталитического образования [Беляев, 1976]. Разложение органических веществ, бикарбонатов, сульфатов в зависимости от условий, в которых оно происходит, ведет к выделению углекислого газа, азота, аммиака, сероводорода, метана, летучих органических веществ и др. Газонасыщенность грунта может возрастать в результате микробного образования метана или восстановления нитрит- и нитрат-ионов до газообразного азота и его окислов.

Наблюдения за состоянием водонасыщенных дисперсных грунтов в основании бетонных плотин крупных гидроэлектростанций показывают их значительную загазованность, связанную с жизнедеятельностью микроорганизмов [Сергеев, 1978]. О протекании процессов микробиологического происхождения при строительстве инженерных сооружений свидетельствуют, в частности, данные А.М. Кузнецова об обильном выделении газов (метана, сероводорода, углекислого газа, водорода и др.) после сооружения плотины Камской ГЭС. Источниками органического вещества для микробиологического образования газов в основании плотины являлись органическое вещество пород, богатые органическим веществом воды водохранилища, гидроизоляция подземных сооружений, представляющая собой мешковину, пропитанную битумом, и др. [Кузнецов, 1965]. На внутренних стенках потерны в местах просачивания воды из водохранилища отмечалось развитие слизиобразующих микроорганизмов и разрушение бетона стен [Хмурчик, 2001]. Доуплотнение

противофильтрационной цементационной завесы щавелево-алюмосиликатным раствором создало дополнительный источник питания для микроорганизмов, что привело к их развитию в структуре геля и частичному разложению последнего [Болотина и соавт., 1986, Максимович, 2006].

Показано, что образование микроорганизмами газов в закрытой системе грунта может увеличивать поровое давление и способствовать значительному разуплотнению глинистых пород, а также придавать плавунные свойства водонасыщенным пескам [Радина, 1973]. По представлениям В.В. Радиной (1973), газообразные соединения, вырабатываемые микроорганизмами в водонасыщенном грунте, частично уходят в атмосферу, частично сохраняются в виде заземленных пузырьков, рассеянных в поровой воде, частично в ней растворяются. Присутствие в воде газа, продуцируемого микроорганизмами, приводит к увеличению давления в поровой воде до 0,4 МПа и более. Газообразные продукты жизнедеятельности микроорганизмов, накапливаясь в грунте и создавая повышенное давление в порах между частицами грунта, снижают тем самым трение между частицами грунта, то есть снижают его сопротивление сдвигу, в результате чего может образоваться плавун [Радина, 1973].

С другой стороны, исследования показывают, что образование биогаза в водонасыщенных песчаных грунтах может снижать их размываемость [He, Chu, 2014, He et al., 2013, Rebata-Landa, Santamarina, 2012].

Потребление газов наблюдается в процессах нитрификации, азотфиксации, окислении водорода, метана, окиси углерода, сероводорода, оксида серы (IV), при автотрофной ассимиляции углекислоты, осуществляемых микроорганизмами грунта.

Изменения твердой и газовой компонент грунта отражаются и на особенностях его *жидкой компоненты*, влияя на состав и ионную силу грунтовых растворов, их кислотно-щелочные условия, окислительно-восстановительный потенциал и др.

Жидкая компонента грунта, к которой относятся вода и водные растворы, имеет большое значение при формировании свойств грунтов в целом и в их преобразовании под воздействием разных факторов. Вода участвует в процессах тепло- и массопереноса, в обогащении определенными веществами одних грунтов и выщелачивании других, способствует или препятствует цементации грунтов, наличие жидкой компоненты определяет консистенцию, деформируемость и прочность грунтов [Теоретические..., 1985б]. Количественное содержание в грунте жидкой компоненты не является постоянным и обуславливается как внешними, так и внутренними факторами геолого-географической обстановки. К первым относятся климатические, геологические, геоморфологические, гидрогеологические условия и растительный покров. К внутренним факторам относятся такие свойства грунтов, как гранулометрический и минеральный состав, емкость поглощения, гидрофильность, влагоемкость [Фролов, Коротких, 1990].

Высокодисперсные минеральные частицы грунтов при взаимодействии с водой приобретают строение, характерное для коллоидных мицелл. Ионы, входящие в состав мицеллы, участвуют в обменных реакциях с ионами водных растворов. Среди обменных ионов резко преобладают катионы. Исследования природы обменных реакций показывают, что обмен ионов может происходить как на внешних поверхностях кристаллов слоистых силикатов, так и в межслоевом пространстве этих минералов. Механизм катионного обмена во многом зависит от характера кристаллических решеток минералов. Состав обменных катионов определяется минеральным составом грунта и составом его жидкой компоненты. Чаще всего среди обменных катионов находятся ионы кальция, магния, натрия, калия, водорода, реже – ионы алюминия, окисного и закисного железа, аммония, лития [Сергеев, 1978].

К закислению жидкой компоненты грунта ведет накопление в ней продуктов неполного разложения микроорганизмами органического вещества (например, летучих жирных кислот) в результате процессов брожения.

Понижение pH поровых вод могут вызвать также тионовые и нитрифицирующие бактерии, образующие неорганические кислоты.

В результате понижения pH вод при кислотном оgleении происходит интенсивное выветривание полевых шпатов с образованием каолинита. В результате выветривания полевых шпатов, слюд, хлорита из них выносятся щелочные элементы, кремнезем, железо, магний. Значительное изменение претерпевают не только алюмосиликаты, но и другие минералы [Теоретические..., 1985б].

Проводилось изучение пород чеганской свиты палеогена в западной части Курганской области. Незначительная глубина залегания грунтов свиты обуславливала использование их в качестве основания фундаментов строительных сооружений и, соответственно, вскрытие их котлованами в процессе проведения строительных работ. Присутствие в составе отложений свиты минералов с низкой химической устойчивостью (гипс, сидерит, пирит) определяло наличие у грунтов и подземных вод потенциала агрессивных свойств по отношению к строительным конструкциям, которые могли проявиться с течением времени за счет развития в поверхностных условиях окислительных бактериальных процессов. Из грунтов чеганской свиты на среде для *Thiobacillus ferrooxidans* были выделены бактерии, которые в лабораторных исследованиях с использованием грунтов показали снижение величины значения pH среды и более чем двукратное увеличение содержания сульфат-ионов за счет бактериального окисления пирита. Таким образом, развитие процессов бактериального окисления пирита в ходе производства строительных работ может привести к повышению сульфатной и общекислотной агрессивности грунтов и грунтовых вод [Максимович и соавт., 2000].

Защелачивание среды может происходить в результате микробных процессов образования метана и восстановления нитрит-, нитрат- и сульфат-ионов, а также восстановления ионов трехвалентного железа.

В щелочных условиях среды из грунта могут выщелачиваться целые группы элементов и переотлагаться на участках, где создаются благоприятные условия

для их осаждения. Железо в щелочной среде малоподвижно, оно может оставаться на месте и входить в состав различных вторичных железистых глинистых минералов. В щелочной среде может происходить гидрослюдизация полевых шпатов, слюд, монтмориллонита, хлоритизация и цеолитизация полевых шпатов, монтмориллонитизация биотита [Теоретические..., 1985б].

Многие комплексные соединения с изменением кислых условий среды на щелочные перестают быть устойчивыми и, наоборот, возникает возможность образования других комплексных соединений. Рост щелочных условий среды обуславливает выпадение большинства рудных элементов в результате гидролиза, так как они начинают гидролизироваться при pH около 4 и при pH 6–8 уже почти все выпадают из раствора. Однако, при постепенной нейтрализации жидкой компоненты, содержащей ионы рудных элементов, эти элементы могут выпадать из слабокислых растворов в виде труднорастворимых фосфатов, арсенатов, молибдатов и т.д. еще задолго до установления той степени нейтрализации раствора, при которой начинаются процессы гидролиза этих элементов. При этом наблюдается следующая последовательность выпадения минералов из раствора: 1) арсенаты и фосфаты; 2) сульфаты и гидроокислы; 3) гидроокислы, окислы и карбонаты; 4) гидросиликаты; 5) молибдаты, ванадаты и хроматы [Щербина, 1980].

По мере истощения микроорганизмами веществ, используемых ими в качестве конечных акцепторов электронов для окисления органических соединений, будет происходить и изменение окислительно-восстановительных условий жидкой компоненты грунта. Кроме того, выделение микроорганизмами продуктов метаболизма, поглощение из твердой и жидкой компонент грунта различных элементов, изменение состава обменных катионов твердой компоненты, изменение состава жидкой и газовой компонент грунта, изменение ионной силы растворов также вызывают изменения окислительно-восстановительных условий жидкой компоненты грунта [Ehrlich, 1996]. Заполнение пор грунта водой и прекращение доступа кислорода хорошо изучено на примере рисовых полей, где наблюдалась характерная последовательность

микробных процессов, обусловленная порядком поглощения сначала наиболее термодинамически выгодных акцепторов электрона и переходом микробного сообщества на использование следующего акцептора по мере их исчерпания, сопровождающаяся изменением окислительно-восстановительного потенциала среды [Заварзин, 1984].

Таким образом, обнаруживаемые в грунте микроорганизмы, являющиеся составной частью его биотической компоненты, могут функционировать на всех этапах формирования грунта и его изменения. Значение жизнедеятельности микроорганизмов может существенно возрасти при техногенном воздействии на грунт [Болотина, Максимович, 1984, Болотина и соавт., 1986, Максимович и соавт., 2001]. Большое количество и высокое разнообразие микроорганизмов, их малые размеры и отрицательный заряд поверхности клетки, способность катализировать химические реакции и выделять в окружающую среду вещества, покрывающие и/или связывающие минеральные частицы между собой, – все это влияет на свойства грунтов и их изменение со временем [Mitchell, Santamarina, 2005]. В связи с этим Р.Э. Дашко были определены следующие основные задачи и направления исследований по геотехническому прогнозированию влияния деятельности микробиоты на безопасность освоения и использования инженерно-геологического пространства:

- О исследование основных факторов, определяющих возможность развития природной и привнесенной микробиоты;
- О изучение влияния контаминации подземных вод и песчано-глинистых грунтов на активизацию микробной деятельности в подземной среде;
- О воздействие температурных условий и радиационного фона на рост/снижение численности микробиоты, активность протекания биохимических и физико-химических процессов в подземной среде мегаполиса и подземных выработках;

- О определение численности основных групп микроорганизмов в аэробных и анаэробных условиях для различных инженерно-геологических условий прямыми и косвенными методами;
- О изучение негативной деятельности микробиоты, влияющей на развитие плывунов, биохимическую газогенерацию, изменение показателей водных и механических свойств грунтов и биокоррозию строительных материалов;
- О исследование позитивной деятельности микроорганизмов с позиции самоочищения подземной среды от органических соединений;
- О разработка основных принципов учета микробиологической деятельности при решении вопросов безопасности освоения и использования подземного пространства городов и горнопромышленных регионов [Дашко и соавт., 2014].

Проведенные к настоящему времени исследования дают возможность полагать, что понимание принципов и механизмов микробного воздействия на грунт позволит использовать микроорганизмы для решения задач инженерной геологии, в частности, для формирования заданных состава и свойств грунта. О необходимости исследования геохимической деятельности микроорганизмов в природе с целью использования ее в практической деятельности человека говорил еще микробиолог С.И. Кузнецов. В частности, он выделял следующие этапы исследования жизнедеятельности микроорганизмов:

- О наблюдение геохимического процесса в природе, ознакомление с экологической обстановкой и выделение микроорганизмов, участвующих в этом процессе;
- О воспроизведение этого процесса в контролируемых условиях, например, в модельных опытах;
- О управление процессом в природе или использование его в народном хозяйстве, например, в гидрометаллургии [Кузнецов, 1976].

Зарубежные исследователи полагают, что по мере накопления знаний и развития технологий в геотехнической инженерии может появиться новое научное направление – микробиологическая геотехнология, призванная решить, по крайней мере, следующие три актуальные задачи: укрепление грунтов за счет

биоцементации, снижение проницаемости грунтов с помощью биокольматации, снижение водонасыщенности грунтов за счет образования биогазов [Chu et al., 2011, He, Chu, 2014]. Однако, решение данных задач уже входит в круг задач технической мелиорации грунтов [Воронкевич и соавт., 1981], а вот их решение с помощью биотехнологических методов с использованием микроорганизмов может являться «геохимически оптимальным» в соответствии с трактовкой данного понятия С.Д. Воронкевичем и соавт. (1981).

1.3. Биотехнология и задачи, стоящие перед ней

Определение биотехнологии в довольно полном объеме дано Европейской биотехнологической федерацией, согласно которому биотехнология – это наука, которая на основе применения знаний в области микробиологии, биохимии, генетики, геномной инженерии, иммунологии, химической технологии, приборо- и машиностроения использует биологические объекты (микроорганизмы, клетки тканей животных и растений) или молекулы (нуклеиновые кислоты, белки, ферменты, углеводы и др.) для промышленного производства полезных для человека и животных веществ и продуктов [Тихонов и соавт., 2005]. Биотехнология формировалась и эволюционировала по мере формирования и развития человеческого общества. До тех пор, пока всеобъемлющий термин «биотехнология» не стал общепринятым, для обозначения наиболее тесно связанных с биологией разнообразных технологий использовали такие названия, как прикладная микробиология, прикладная биохимия, технология ферментов, биоинженерия, прикладная генетика и прикладная биология. В настоящее время биотехнология стала наукой о практическом использовании биологии в целом, а не отдельных ее ветвей, как это было прежде [Биотехнология..., 1988].

Прорыв биотехнологии на промышленный уровень в немалой степени обязан развитию новых методов исследований на молекулярном уровне и

интенсификации процессов, открывших ранее неизвестные возможности в получении биопрепаратов, способов выделения, идентификации и очистки биологически активных веществ [Баев, Быков, 1987, Тихонов и соавт., 2005, Watanabe, Baker, 2000, Demain, Dijkhuizen, 2006]. В промышленном масштабе биотехнология представляет собой целую индустрию, в которой можно выделить следующие отрасли:

- О производство полимеров и сырья для текстильной промышленности;
- О получение метанола, этанола, биогаза, водорода и использование их в энергетике и химической промышленности;
- О производство белка, аминокислот, витаминов, ферментов и других соединений путем крупномасштабного выращивания дрожжей, водорослей, бактерий;
- О увеличение продуктивности сельскохозяйственных растений и животных;
- О получение гербицидов и биоинсектицидов;
- О широкое внедрение методов генной инженерии при получении новых пород животных, сортов растений и выращивании тканевых и клеточных культур растительного и животного происхождения;
- О переработка производственных и хозяйственных отходов, сточных вод, изготовление компостов с применением микроорганизмов;
- О утилизация вредных выбросов, нефти и химикатов, загрязняющих почву и воду;
- О производство лечебно-профилактических и диагностических препаратов (вакцин, сывороток, антигенов, аллергенов, интерферонов, антибиотиков и др.) [Тихонов и соавт., 2005].

Наиболее быстро развивается одна из традиционных отраслей биотехнологии – микробная технология, так как практически все биотехнологические процессы тесно связаны с жизнедеятельностью микроорганизмов – бактерий, вирусов, микроскопических грибов и т.п. [Печуркин и соавт., 1990]. Микроорганизмы потребляют из окружающей среды вещества, растут, размножаются, выделяют жидкие и газообразные продукты

метаболизма, тем самым реализуя те изменения в системе (накопление биомассы или продуктов метаболизма, потребление загрязняющих веществ), ради которых проводят процесс их культивирования – то есть микроорганизмы являются центральным элементом биотехнологической системы, определяющей эффективность ее функционирования [Тихонов и соавт., 2005].

В настоящее время микроорганизмы используются, в основном, для решения следующих задач:

- О производство биомассы как источника белка для выращивания сельскохозяйственных животных;

- О получение продуктов метаболизма и синтез определенных соединений типа антибиотиков, витаминов, органических и аминокислот, а в последнее время – белков животного и человеческого происхождения;

- О интенсивная утилизация антропогенных загрязнений в очистных системах и биосфере [Баев, 1985, Баев, Быков, 1987, Беккер, 1978, 1985, Тихонов и соавт., 2005].

Из-за промышленной, сельскохозяйственной и бытовой деятельности человека постоянно происходят изменения физических, химических и биологических свойств окружающей среды, многие из которых являются весьма неблагоприятными. Ожидается, что биотехнология будет оказывать многообразное и все возрастающее влияние как на способы контроля за состоянием, так и на само состояние окружающей среды [Биотехнология..., 1988, de Lorenzo, 2017, Rittmann, 2006, Timmis et al., 2017, Verstraete, 2007, Verstraete, De Vriese, 2017].

Существует два основных подхода при использовании биотехнологических методов применительно к объектам окружающей среды – биостимуляция и биодополнение. Оба подхода могут быть применены как по-отдельности, так и совместно.

Биостимуляция подразумевает активирование жизнедеятельности микроорганизмов путем создания соответствующими методами оптимальных для этого условий [Atlas, 1977, Devlin, Barker, 1994, El Fantroussi, Agathos, 2005, Tyagi

et al., 2011]. Жизнедеятельность микроорганизмов ограничивается следующими основными факторами окружающей среды: низкой температурой, высокой минерализацией, неблагоприятными окислительно-восстановительными и кислотно-щелочными условиями. Их изменением можно добиться повышения скорости процессов, осуществляемых микроорганизмами. Кроме того, активирования жизнедеятельности микроорганизмов можно достичь добавлением специальных соединений, учитывая особенности их физиологии и метаболизма. Таким образом, биостимуляция микроорганизмов может быть достигнута следующими способами:

- изменением температурных условий;
- изменением минерализации растворов;
- изменением окислительно-восстановительных условий;
- изменением кислотно-щелочных условий;
- добавлением субстратов-доноров электронов;
- добавлением субстратов-акцепторов электронов;
- добавлением косубстратов;
- добавлением биогенных элементов (микро- и макроэлементов).

Биодополнение заключается во внесении в объекты окружающей среды добавочных биологических элементов. В качестве таких элементов могут выступать как выделенные из данного объекта микроорганизмы, (автохтонные микроорганизмы), так и чужеродные для него, выделенные из других объектов (аллохтонные микроорганизмы) [Dejonghe et al., 2001, El Fantroussi, Agathos, 2005, Pritchard, 1992, Singer et al., 2005, Thompson et al., 2005, Tyagi et al., 2011]. Обычно считается, что увеличение микробного разнообразия грунта ведет к увеличению катаболического потенциала микробного сообщества и, соответственно, лучшему удалению из объектов окружающей среды метаболитов и загрязняющих веществ [Dejonghe et al., 2001, Watanabe et al., 2002]. В качестве вносимого элемента может выступать и генетический материал (например, в виде плазмидной ДНК) разного происхождения [Dejonghe et al., 2000, Lovley, 2003].

Внесение в объект окружающей среды культуры микроорганизмов, чужеродных для данного объекта, не всегда может быть успешным вследствие плохой их выживаемости [Gentry et al., 2004, Van Elsas et al., 1986, van Veen et al., 1997], поэтому к вносимым культурам микроорганизмов предъявляются следующие требования:

- способность культуры метаболизировать требуемый субстрат и высокая степень ее ферментативной активности;
- генетическая стабильность культуры;
- сохранение жизнеспособности культуры при хранении, особенно при длительном хранении;
- способность культуры к быстрому росту, особенно после хранения;
- способность культуры выдерживать конкуренцию с автохтонной микрофлорой;
- непатогенность культуры;
- неспособность культуры продуцировать токсичные вещества [Leahy, Colwell, 1990].

Предлагают новые способы внесения микроорганизмов в окружающую среду, направленные на повышение их выживаемости и активности:

- инкапсулирование клеток микроорганизмов в носитель, например, альгинатный гель;
- ризосферное внесение микроорганизмов, то есть внесение в корневую зону растений, произрастающих в данной местности [Gentry et al., 2004].

Для трансгенных микроорганизмов предлагается их внесение совместно с природными штаммами [Могильная и соавт., 2005].

Лабораторные исследования показали, что, управляя внешними условиями, также можно добиться стабилизации внесенной популяции [Звягинцев, 1983].

Отдельные биотехнологические методы находят применение для обработки грунтов, в том числе и в целях изменения их свойств, однако, широкое применение биотехнологии для технической мелиорации грунтов до сих пор не стоит в ее задачах и сдерживается отсутствием развитой методологии.

1.4. Основы методологии формирования состава и свойств грунта биотехнологическими методами

Вышеприведенные исследования воздействия микроорганизмов на компоненты грунта показали, что в микробных популяциях грунта есть достаточное количество разнообразных микроорганизмов, способных как разлагать, так и образовывать различные соединения. Разные условия среды (наличие или отсутствие тех или иных доноров и акцепторов электронов, окислительно-восстановительный потенциал, кислотно-щелочные условия, температура и проч.) благоприятствуют развитию разных групп микроорганизмов, а изменение условий среды влечет за собой соответствующую смену доминирующей группы микроорганизмов [Заварзин, 2003], поэтому формирование заданных свойств грунта с помощью микроорганизмов должно учитывать их физиологические особенности. В таблице 1-1 приведены некоторые группы микроорганизмов, влияющие на свойства компонент грунта, и технологии активирования их жизнедеятельности в грунте.

Нами разработана и предлагается методология формирования заданных свойств грунта (рисунок 1-1), которая основывается на создании в грунте путем внесения различных химических соединений и изменения окислительно-восстановительного потенциала и pH среды определенных условий для усиленного развития конкретной группы микроорганизмов, то есть ее активирование, процессы жизнедеятельности которой способны привести к соответствующим изменениям в компонентах грунта и, в целом, к формированию заданных свойств грунта [Khmurchik et al., 2021].

Методология формирования состава и свойств грунта с помощью микроорганизмов подразумевает выполнение следующих этапов работы:

1. Оценка текущего состояния грунта, включающая:
о характеристику минерального и гранулометрического состава твердой компоненты;

Таблица 1-1 – Изменение свойств грунта при активировании микроорганизмов

Изменение свойств грунта			Группа микроорганизмов	Технология активирования микроорганизмов
твердая компонента	жидкая компонента	газовая компонента		
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Снижение pH	Не изменяется	Нитрифицирующие микроорганизмы	Добавление солей аммония Добавление нитритных солей Создание аэробных условий
Увеличение пористости Снижение прочности	Снижение pH	Не изменяется	Тионовые микроорганизмы	Добавление серы Добавление сульфидных солей Создание аэробных условий
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH	Не изменяется	Аммонифицирующие микроорганизмы	Добавление аминокислот Добавление мочевины
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH Снижение влажности	Увеличение газоносности Увеличение газосодержания	Денитрифицирующие микроорганизмы	Добавление нитратных солей Добавление органического вещества Создание анаэробных условий

Продолжение таблицы 1-1

Изменение свойств грунта			Группа микроорганизмов	Технология активирования микроорганизмов
твердая компонента	жидкая компонента	газовая компонента		
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH	Не изменяется	Железовосстанавливающие микроорганизмы	Добавление солей железа (III) Добавление органического вещества Создание анаэробных условий
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH	Не изменяется	Сульфатовосстанавливающие микроорганизмы	Добавление сульфатных солей Добавление органического вещества Создание анаэробных условий
Увеличение пористости Разуплотнение Снижение прочности	Не изменяется	Увеличение газоносности Увеличение газосодержания	Метанобразующие микроорганизмы	Добавление формиата Добавление ацетата Добавление метанола Создание анаэробных условий



Рисунок 1-1 – Методологическая схема формирования заданных свойств грунта

- оценку pH порового раствора грунта, ионного состава пленочной воды грунтовых частиц, оценку ионного состава и pH подземных вод;
- оценку состава газовой компоненты грунта;
- 2. Оценка микробной составляющей грунта, призванная определить:
 - групповой состав микробного сообщества грунта;
 - роль каждой группы микроорганизмов в изменении тех или иных свойств компонент грунта;
 - ранжировать группы микроорганизмов по степени их воздействия на грунт;
- 3. Разработка технологии активирования микроорганизмов, включающая:
 - определение оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов;
 - принятие решения о целесообразности применения *in situ* методов биодополнения с использованием аллохтонных или автохтонных микроорганизмов грунта;
 - подбор состава соответствующих сред для культивирования микроорганизмов;
- 4. Разработка технологии формирования заданных состава и свойств грунта, заключающаяся в:
 - разработке способов создания внешних условий, благоприятных для развития микроорганизмов;
 - определении состава растворов для обработки грунта, способов и периодичности их внесения, длительности обработки;
 - определении способов и методов контроля за ходом процесса и оценки полученных результатов.

Разработанная методология нашла практическое применение при формировании заданных свойств твердой, жидкой и газовой компонент грунтов в полевых условиях и модельных экспериментах, как описано далее.

Глава 2. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ТВЕРДОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА

2.1. Воздействие микроорганизмов на твердую компоненту грунта

Техническая мелиорация грунтов традиционно используется для улучшения их инженерных свойств: укрепления, снижения проницаемости, уплотнения и т.д. Для обработки грунтов проницаемостью 10^{-4} – 10^{-1} см/с обычно применяется закачка химических растворов, из которых происходит осаждение частиц или образование геля, заполняющих поры и пустоты грунтов, что приводит к повышению несущей способности грунтов [DeJong et al., 2006, Delfosse-Ribay et al., 2007, Gallagher et al., 2007, Porcino et al., 2011, 2012]. Инъекционное закрепление грунтов нашло широкое применение в фундаментостроении, горном деле, гидротехническом строительстве. Практически на всех крупных плотинах этот способ применяется для создания противофильтрационных завес [Максимович, 2006, Lee et al., 2005, Turkmen, 2003, Turkmen et al., 2002], причем для завес глубокого заложения он является единственным [Максимович, 2006].

Обычно используются следующие цементирующие агенты: органические вещества, силикаты, синтетические смолы, карбонат кальция, гипс, портланд-цемент. Два последних агента используются в сухом виде, которые смешивают с грунтом до достижения необходимой плотности. Цементация инициируется насыщением водой [DeJong et al., 2006, Swart, van Schalkwyk, 2001]. Добавка гипса к грунтам ограничивает набухание и диспергирование глин и повышает стабильность структуры грунта за счет эффектов катионного обмена и электролитического эффекта грунтовой влаги [Graber et al., 2006]. Использование органических кислот для улучшения характеристик грунтов приводит к увеличению прочности в 1,5–2,5 раза по сравнению с необработанным грунтом [Lee et al., 2012]. В целях стабилизации грунтовых агрегатов используют и другие

органические вещества, в том числе отходы [Graber et al., 2006]. На Камской ГЭС, где по данным режимных гидрохимических и гидродинамических наблюдений шло развитие процессов опреснения подземных вод, выщелачивания и растворения гипсоносных пород в основании плотины, проводили работы по доуплотнению противифльтрационной цементационной завесы щавелево-алюмосиликатным раствором. Это было первое в отечественной практике использование силикатного раствора для трещиноватых грунтов в основании плотины. В результате проведенных работ возросли перепады напора на завесе и коэффициент устойчивости сооружения [Максимович, 2006]. Однако, химические способы мелиорации грунтов часто являются дорогостоящими и нередко вредными для человека и/или окружающей среды [DeJong et al., 2006, 2010, Ivanov, Chu, 2008]. Например, способы, основанные на использовании цемента, предпочитают не применять как вследствие его высокой стоимости, так и большого количества углекислого газа, выделяемого при его производстве [Gerilla et al., 2007, Peris Mora, 2007].

Цементации грунтов можно добиться и использованием растворов полимеров [Воронкевич, 2011]. Вместо использования растворов возможно смешение грунта с мелкими частицами полимера с последующим нагревом. Сообщается, что этим методом достигается на один порядок величины бóльшая прочность, чем в случае использования минерального связующего в количестве 2% [Valdes, Cortes, 2014]. В случае использования полимеров природного, в том числе микробиологического происхождения говорят о биополимерах. Существует достаточно обширная научная литература, посвященная использованию как биополимеров, так и продуцирующих биополимеры микроорганизмов. Биополимеры, являясь обычно высокомолекулярными полисахаридами, безопасны для окружающей среды. Биополимеры кроме цементации грунтов, т.е. связывания частиц грунта между собой, обладают и другими полезными свойствами – они способны образовывать химические связи с металлами и, таким образом, удерживать их в грунте. Более того, биополимеры могут быть легко получены *in situ* инокуляцией грунта соответствующими видами

микроорганизмов, которые в дальнейшем могут размножиться и распространиться на значительное расстояние от места инокуляции [Etemadi et al., 2003]. Показана способность биополимеров снижать проницаемость грунтов, образовывать широкий ряд непроницаемых барьеров и увеличивать силу сдвига грунтов [Cole et al., 2012, Li et al., 1993, Yang et al., 1993]. Способность биополимеров связывать ионы металлов используется для обработки сточных вод и извлечения ионов металлов из водных растворов, предотвращения миграции тяжелых металлов из грунтов [Deans et al., 1992, Etemadi et al., 2003, Findon et al., 1993, Gutnick, Bach, 2000, Jha et al., 1988, Wan Ngah et al., 1999]. Используют биополимеры и для обработки ядерных отходов и веществ, содержащих радиоактивные изотопы [Fujita et al., 2000, Kosyakov et al., 1997, Teterin, 1997, Warren et al., 2001]. Исследования показали, что использование биополимеров в низкой концентрации ведет к снижению сжимаемости глинистых грунтов (C_c снижается с 0,614 до 0,442), а в высокой концентрации – к повышению сжимаемости (C_c возрастает с 0,614 до 1,058) за счет замещения глинистых частиц биополимером и электростатического отталкивания между биополимером и глинистыми частицами [Nugent et al., 2011].

Цементация грунтов может происходить за счет образования в них минералов. В лабораторных условиях для этой цели использовали бактерии *Leptothrix discophora*, которые вызывают выпадение в осадок минералов железа и/или марганца. Предполагается возможность индуцирования данного процесса *in situ* за счет активизации жизнедеятельности автохтонной микрофлоры [Weaver et al., 2011]. В полевых испытаниях инъекционного раствора, содержащего уреолитические микроорганизмы, мочевины и соли железа, зафиксировали снижение проницаемости грунта и увеличение силы сдвига в результате осаждения гидроксида железа (III) вследствие ферментативного гидролиза мочевины. Отмечено, что снижение проницаемости песчаного грунта на 2–3 порядка величины может быть достигнуто при увеличении содержания в грунте осажденного металла более 1,5%, однако сила сдвига при этом не увеличится [Chu, Ivanov, 2014].

Процесс заполнения порового пространства грунта более мелкими частицами, находящимися во взвешенном состоянии в фильтрующейся воде, называется кольтматацией. Кольтматация происходит по двум причинам – простому механическому заполнению пор грунта и поверхностному взаимодействию частиц. Твердые взвешенные частицы суспензии могут механически задерживаться в порах грунтов, а также вступать в физико-химические взаимодействия со скелетом фильтрующего грунта и друг с другом с образованием коагуляционных связей [Трофимов и соавт., 2005]. При биокольтматации гидравлическая проводимость грунта является результатом следующих процессов, протекающих в поровом пространстве грунта:

- транспорта бактерий и их закрепления на частицах грунта;
- бактериального роста, размножения и накопления биомассы, развития микроколоний и биопленок на поверхности минералов с соответствующим уменьшением порового пространства;
- отслоения бактериальных образований и их механического накопления в устьях пор;
- секреции внеклеточных полимеров бактериями;
- окклюзии устьев пор пузырьками слаборастворимых биогенных газов, - приводящих к снижению размеров устьев пор более чем на три порядка величины [Mitchell, Santamarina, 2005].

Наблюдали заполнение в течение 6 лет 31–45% порового пространства гравелистого грунта с размером частиц 38 и 19 мм в результате биокольтматации [McIsaac, Rowe, 2007]. Запатентован способ снижения проницаемости и гидравлической проводимости пород и геологических конструкций в результате кольтматации за счет роста биомассы автохтонных микроорганизмов пород или специально вносимых культур бацилл (в том числе в виде спор) или псевдомонад [McInerney et al., 1985], а также за счет образования ими минеральных частиц карбонатов кальция, магния и железа [van der Zon et al., 2012]. Феррис и соавт. (1996) использовали бактерии для активного осаждения карбоната кальция в качестве кольтматирующего агента. В исследовании использовали инъекцию

микроорганизмов для осаждения аутигенных минералов в высокопроницаемых водопроводящих каналах. Осаждение минералов может осуществляться за счет использования бактерий в качестве пассивных центров нуклеации, в то время как инъекция соответствующего раствора вызывает перенасыщение пластовых вод по отношению к определенной минеральной фазе и/или стимулирует метаболическую активность бактерий, способных вызывать такое перенасыщение. В результате эксперимента было достигнуто снижение проницаемости пород с 13 и 5,5 Дарси ($1,1 \cdot 10^{-2}$ и $4,7 \cdot 10^{-3}$ см/с) до 2,8 и 0,9 Дарси ($2,4 \cdot 10^{-3}$ и $7,8 \cdot 10^{-4}$ см/с) [Ferris et al., 1996, Ferris, Stehmeier, 1992]. В других исследованиях сообщается о снижении пористости и проницаемости пород на 50% и 90%, соответственно, при использовании бактерий и ростовой среды для них с добавлением раствора, содержащего CaCl_2 и NaHCO_3 , для обработки лабораторных колонок, заполненных стеклянными бусинами или песком [DeJong et al., 2006]. Экспериментальные данные показали, что после обработки бактериями проницаемость песков может снизиться в 4 раза, а их несущая способность вырасти до существенных значений [Chu et al., 2011]. Запатентованы способы снижения потока жидкости в пористых средах и структурах гражданского строительства активацией микробиологических процессов, ведущих к образованию карбонатных минералов, путем внесения микроорганизмов, источников питания для них, ионов кальция/магния [Chapelle, Valayer, 2009, Garcia et al., 2009].

Биокольматация грунтов может происходить не только за счет образования минеральных частиц, но также и за счет образования микроорганизмами биополимеров. В лабораторном эксперименте с бактериями *Leuconostoc mesenteroides* после 41 сут. экспозиции проницаемость колонки с песком снизилась более чем на порядок величины за счет аккумуляции в песке биополимера-декстрана. Накопление биополимера происходило в поровом пространстве, что вызвало снижение пористости и рост электрического сопротивления на 80–100% [Ta et al., 2014]. Хачатурян и соавт. (2003) провели серию испытаний проницаемости тонкозернистых песков после кольматации

пятью различными биополимерами и обнаружили снижение проницаемости на 14 порядков величины менее чем за 2 недели экспериментов [Khachatoorian et al., 2003]. Запатентован способ цементации слабых грунтов с использованием микроорганизмов *Bacillus mucilagenosus*, активно продуцирующих экзополисахариды [Блинов и соавт., 1996]. Контролируемое осаждение минералов в поровом пространстве грунта, приводящее к изменению его макроскопических свойств, так называемый «инжиниринг порового пространства» – инновационный подход в геотехнике, имеющий большие перспективы [Whiffin et al., 2007].

В природных условиях к цементации грунтов и пород ведут химические реакции, связанные с выветриванием. Степень цементации грунтов широко варьирует и зависит от свойств окружающей среды, которые также определяют и степень выветривания, постепенно разрушающего образующийся цемент [Трофимов и соавт., 2005]. Естественно сцементированные пески существуют в различных частях земной коры. Кальцит – один из наиболее распространенных в природе цементирующих агентов [Ehrlich, 1996]. Образование песчаников объясняют осаждением кальцитового цемента [Saxena, Lastrico, 1978]. Цементация песков усиливается малым количеством других соединений, например кремнезема, водных силикатов и гидроксидов железа [Clough et al., 1981, DeJong et al., 2006, Kralj, Vdović, 2000]. В роли цементирующих агентов выступают как различные минеральные соединения (например, кальцит, гидроксиды железа, марганца и др.), так и вещества полимерной природы. Аутигенные минералы образуются *in situ* осаждением из водорастворенного состояния в процессе нуклеации и последующим ростом кристаллов. Обязательным условием выпадения минералов из раствора, даже когда в этом процессе принимают участие микроорганизмы, является достижение некоторой степени перенасыщения раствора. Самопроизвольное выпадение нерастворимого осадка из раствора сдерживается необходимостью преодоления энергоактивационного барьера, что легко осуществляется в насыщенных растворах с помощью энергии, высвобождаемой при образовании связей в твердой фазе. Точка, при которой этот энергоактивационный барьер

преодолевается, и начинается рост кластера из молекул, устойчивого к растворению, называется точкой нуклеации [Fortin et al., 1997]. Как только сформируется зародышевое ядро кристалла, начинается его рост за счет взаимодействия с ионами раствора. Нуклеация может протекать гомогенно вследствие случайных столкновений ионов или атомов в растворе или гетерогенно, когда зародышевые ядра кристаллов образуются на поверхности частиц, которые усиливают нуклеацию [DeJong et al., 2006, Sondi, Matijevic, 2001]. В качестве центров нуклеации для аутигенного образования минералов могут выступать биополимеры [Barker, Banfield, 1996, Fortin et al., 1997]. Различные минералы грунта могут выступать в качестве центров нуклеации для гетерогенного образования минералов, влияя на термодинамику реакции осаждения/растворения в системе. Например, частицы грунта, содержащие карбонат кальция, являются идеальной поверхностью для добавочного осаждения карбоната кальция [Mortensen et al., 2011]. Гетерогенная нуклеация может также возникать на поверхности индивидуальной бактериальной клетки. Присутствие миллионов таких клеток в данном растворе представляет для кристаллизации неисчислимо множество центров нуклеации [DeJong et al., 2006, Dupraz et al., 2004]. Биогенное образование кальцита является, по-видимому, комбинацией гомогенной нуклеации с гетерогенной [Mitchell, Ferris, 2006]. Алоизи и соавт. (2006) считают, что образование карбонатных наноглобул является первым этапом процесса микробной кальцификации [Aloisi et al., 2006]. Исследования показали нуклеацию нанокристаллов и наноглобул карбонатов на поверхности клеток умеренно галофильных аэробных бактерий [Rivadeneira et al., 2006, 2010, Sánchez-Román et al., 2008]. Было предположено, что микроорганизмы способны влиять на кинетику осаждения карбонатных минералов [Sánchez-Navas et al., 2009].

Цементация кальцитом. Не обнаружено каких-либо специфических кальцит-образующих микроорганизмов, так как процесс образования карбоната кальция не обеспечивает микроорганизмы энергией, а является побочным продуктом жизнедеятельности микроорганизмов, продуцирующих углекислоту

при минерализации органического вещества [Илялетдинов, 1984, Castanier et al., 1999, Hendry, 1993, Whiffin et al., 2007]. Ключевыми факторами, от которых зависит процесс, являются концентрация ионов кальция и гидрокарбонат-ионов, кислотнo-щелочные условия среды и наличие сайтов нуклеации [Castanier et al., 1999, Kile et al., 2000]. *In situ* кальцит осаждается как цементирующий агент двумя разными способами: выпадая в осадок из воды, насыщенной карбонатом кальция, и выпадая в результате реакций химического обмена на разделе фаз вода–порода. На осаждение кальцита влияют химизм воды, миграционная способность ионов кальция и гидрокарбонат-ионов, наличие карбонатов, проницаемость пород, их состав и текстура. Немаловажную роль играет и микробная активность пород [DeJong et al., 2010, Hall et al., 2004, Molenaar, Venmans, 1993].

Осаждение кальцита описывается следующим средним уравнением реакции:



[Cheng et al., 2013, Ehrlich, 1996, Sel et al., 2015]. Микробиологически индуцированное осаждение кальцита протекает в соответствии с уравнениями:



[DeJong et al., 2006, Rong et al., 2011].

Эксперименты показали, что образование частиц карбоната кальция гетеротрофными бактериями идет различными путями. Так, «пассивное» образование карбонатов стимулируется изменениями среды, которые приводят к накоплению в ней гидрокарбонат- и карбонат-ионов и их последующему осаждению в виде твердых частиц. Эти изменения могут быть вызваны несколькими метаболическими путями бактериальных циклов химических элементов: азота (аммонификация аминокислот, гидролиз мочевины и мочевой кислоты, диссимильаторное восстановление нитратов), серы (диссимильаторное восстановление сульфатов), марганца и железа (диссимильаторное восстановление марганца и железа) [Castanier et al., 1999, Chou et al., 2011, Hammes, Verstraete, 2002, Hendry, 1993, Wright, Oren, 2005].

Брессан и соавт. (2003) обнаружили, что высокие концентрации аминокислот и экзополисахаридов благоприятствуют образованию кристаллов кальцита сферической формы в результате жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий [Braissant et al., 2003]. Гуо и соавт. (2013) наблюдали одновременное образование кристаллов кальцита гантелевидной, кочановидной, ромбоэдрической и неправильной формы в культуре *Citrobacter sp.* По мнению авторов, это может быть свидетельством одновременного протекания в системе как гомогенной, так и гетерогенной нуклеации кристаллов кальцита [Guo et al., 2013]. Кавагучи и Дечо (2002) предположили, что полиморфизм кристаллов кальцита связан с присутствием специфических белков в продуцируемых клетками микроорганизмов экзополимерах [Kawaguchi, Decho, 2002]. Хаммес и соавт. (2003) показали, что культуры микроорганизмов, относящиеся к одному виду, могут обладать абсолютно разными генами, кодирующими уреазу (фермент, участвующий в реакциях осаждения кальцита), от уровня экспрессии которой может зависеть форма образующихся кристаллов [Hammes et al., 2003].

Нами было обнаружено образование кристаллов кальцита в отложениях дренажной системы земляной плотины (рисунок 2-1), где гидрокарбонат-ионы образовывались в результате процесса бактериального восстановления сульфатов. Другими продуктами процесса являлись сероводород, обнаруживаемый по характерному запаху, и гидросульфид-ионы, которые при реакции с водорастворенными ионами Fe^{2+} выпадали из раствора в виде минерала пирита. При этом новообразованные кристаллы кальцита и пирита могли образовывать сростки (рисунок 2-2) [Максимович, Хмурчик, 2013].

В случае автотрофных микроорганизмов метаногенез неметилотрофного типа и цианобактериальный фотосинтез также могут приводить к осаждению карбоната кальция [Castanier et al., 1999]. Хан и соавт. (2014) изучали процесс отложения кристаллов кальцита микро- и нанометровой размерности на поверхности клеток цианобактерии *Synechocystis sp.* и обнаружили предпочтительное ориентирование кристаллов кальцита: скорость роста



Рисунок 2-1 – Агрегат прозрачных зерен кальцита в отложениях дренажной системы земляной плотины [Максимович, Хмурчик, 2013]



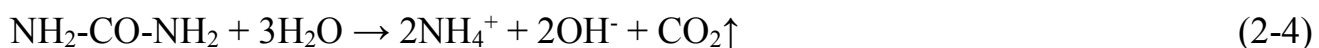
Рисунок 2-2 – Срастание зерен кальцита и пирита в отложениях дренажной системы земляной плотины [Максимович, Хмурчик, 2013]

кристаллов в кристаллографической плоскости (113) была наивысшей, а скорость роста в плоскости (104) снижалась, что было связано с образованием органических метаболитов цианобактерией [Han et al., 2014]. Способность к упорядоченному осаждению кристаллов минералов обнаруживается у многих живых организмов и является общей биологической способностью [Addadi, Weiner, 1992].

«Активное» карбонатообразование не зависит от вышеназванных метаболических путей – частицы карбоната кальция образуются в результате реакций ионного обмена, идущих на поверхности бактериальной клетки по механизму, который до сих пор еще слабо изучен. Активное осаждение карбонатов может быть связано с переносом ионов кальция через клеточную мембрану [Castanier et al., 1999, McConnaughey, Whelan, 1997].

Таким образом, карбонатогенез не ограничен ни определенными таксономическими группами микроорганизмов, ни специфическими средами обитания микроорганизмов. Это общепланетный феномен, существующий с докембрия. В настоящее время считается, что потенциальная активность продукции карбонатов гетеротрофными микроорганизмами выше, чем автотрофными микроорганизмами или чем в ходе абиотических химических реакций [Voquet et al., 1973, Castanier et al., 1999].

Эффективность бактериального осаждения минералов зависит от свойств пористой среды, количества присутствующих бактерий и их метаболической активности. Критическим фактором для микробиологически индуцированной цементации является также pH среды [Ruiz-Agudo et al., 2011]. Стокс-Фишер и соавт. (1999) определили, что микробиологически индуцированное осаждение карбоната кальция начинается при pH 8,3 и протекает с увеличением скорости до достижения pH 9,0 [Stocks-Fisher et al., 1999]. Образование кальций-карбонатного (кальцитового) цемента является следствием метаболической активности бактерий, увеличивающей pH среды. Локальное увеличение pH может быть достигнуто продукцией ионов аммония в результате ферментативного гидролиза мочевины (уреазной активности бактерий) в соответствии с уравнением реакции:



[Chou et al., 2011, DeJong et al., 2006]. Образование кальцитового цемента уреолитическими бактериями изучено лучше, чем другими группами микроорганизмов [Whiffin et al., 2007].

Уреазная активность обнаружена у широкого ряда микроорганизмов и растений, некоторые из которых вырабатывают фермент в большом количестве [Bachmeier et al., 2002, Burbank et al., 2012, Mobley, Hausinger, 1989, Mobley et al., 1995]. *Sporosarcina pasteurii* (бывш. *Bacillus pasteurii*) – наиболее часто используемая в исследованиях алкалофильная (щелочелюбивая) почвенная бактерия с высокой активностью конститутивного фермента уреазы, которая использует мочевины как источник энергии и продуцирует ионы аммония (NH_4^+), увеличивающие pH окружающей среды и вызывающие осаждение ионов кальция и карбонат-ионов в виде карбоната кальция. Содержание уреазы в клетках бактерии может достигать 1% от сухого веса клеток [Bachmeier et al., 2002]. С другой стороны, для успешной биоцементации грунта нет необходимости в высокой уреазной активности микроорганизмов – лучшее образование агрегатов карбоната кальция наблюдалось при низкой скорости гидролиза мочевины бактериями [Qian et al., 2009]. Локальное увеличение pH часто является причиной того, что клетки микроорганизмов становятся центрами нуклеации для кристаллизации минералов [Ferris et al., 1996]. Кроме того, положительно заряженные ионы кальция могут закрепляться на поверхности бактериальной клетки вследствие ее общего отрицательного заряда. Отложение кальцита на поверхности бактериальной клетки, служащей центром нуклеации, описывается следующими уравнениями:



[DeJong et al., 2006, Rong et al., 2011, Stocks-Fischer et al., 1999].

Внесение в грунт культур микроорганизмов, чужеродных для данного грунта, не всегда может быть успешным вследствие плохой выживаемости интродуцированных микроорганизмов [Gentry et al., 2004, Van Elsas et al., 1986,

van Veen et al., 1997], поэтому для биоцементации грунтов часто используют культуры автохтонных уреолитических микроорганизмов грунта [Burbank et al., 2011, 2012]. Активирование жизнедеятельности данных микроорганизмов *in situ*, то есть внутри грунта, позволяет избежать технических сложностей, связанных с интродуцированием микроорганизмов в грунт [Mortensen et al., 2011]. При этом использование автохтонных уреолитических микроорганизмов самого грунта для его мелиорации с помощью биогенного осаждения кальцита может быть осложнено следующими факторами:

- О низкой концентрацией уреолитических бактерий в глубоких горизонтах грунта и их отсутствием в породах;
- О недостаточной уреазной активностью микроорганизмов в условиях высокой концентрации солей или щелочности среды выше 8,5;
- О потенциальной патогенностью природных микроорганизмов грунта;
- О непредсказуемой и нестабильной активностью микроорганизмов в процессе осаждения кальцита [Stabnikov et al., 2013].

Однако, манипулируя уреолитической активностью микроорганизмов, скоростями реакции и транспорта субстратов и состоянием насыщения можно значительно влиять на эффективность обработки грунта [Phillips et al., 2013].

Желаемые механические свойства грунта могут быть достигнуты осаждением в нем достаточного количества кристаллов карбоната кальция [Cheng, Cord-Ruwisch, 2014], однако, как показали исследования, прочность грунта зависит не от общего количества осажденного кальцита, а от его распределения в толще грунта [Cheng et al., 2013]. Осаждение биогенного кальцита приводит к улучшению геотехнических свойств грунта вследствие того, что он отлагается не только вокруг рыхлых частиц грунта, но и между ними, связывая тем самым частицы между собой. Более того, связующая функция биогенного кальцита может усиливаться за счет образования водородных и иных связей с частицами грунта [Rong, Qian, 2015, Rong et al., 2011, Sel et al., 2015]. Использование методов биогенного осаждения кальцита оказалось эффективным

способом улучшения свойств песчаных грунтов [Burbank et al., 2011, Chu et al., 2012, DeJong et al., 2006, Weaver et al., 2011, Whiffin et al., 2007].

Исследования Виффин и соавт. (2007) показали, что прочность биосцементированного песка зависела от содержания в нем осажденного кальцита. Была обнаружена линейная зависимость между пористостью грунта и общим содержанием в нем кальцита [Whiffin et al., 2007]. Исследования Ширакава и соавт. (2011) показали, что величина предела прочности песчаного грунта, консолидированного в результате жизнедеятельности уреолитических микроорганизмов, зависела не от количества осажденного кальцита, а являлась линейной функцией от отношения объема осажденного кальцита к начальной пористости грунта. При этом наблюдалось почти десятикратное увеличение предела прочности при увеличении на 1% отношения объема осажденного кальцита к начальной пористости грунта [Shirakawa et al., 2011].

Использованием в лабораторном эксперименте *S. pasteurii* для обработки рыхлого песчаного грунта добились его преобразования в песчаник, что было недостижимо при химическом способе осаждения кальцита [Rong, Qian, 2015, Rong et al., 2011].

Чу и соавт. (2012) обработкой образцов песчаного грунта тропического пляжа культурой *Bacillus sp.* добились снижения проницаемости грунта до величины $1,6 \cdot 10^{-7}$ м/с (или 14 мм/сут.). Они отметили, что грунты с такой величиной проницаемости могут быть использованы в строительстве прудов для аквакультур. При этом величина модуля разрушения верхнего слоя грунта, преобразованного в корку, была 35,9 МПа, что сопоставимо с таковой для песчаника [Chu et al., 2012].

Обработка культурой *S. pasteurii* керна песчаника приводила к равномерному осаждению в нем кальцита и умеренному снижению пористости (с 0,231 до 0,159) и существенному снижению проницаемости (с $1,01 \text{ м}^2$ до $0,035 \text{ м}^2$) [Sham et al., 2013].

Феррис и соавт. (1996) сообщили о снижении проницаемости грунта в результате биогенного осаждения кальцита на 15–20% от начального значения, а

Виффин и соавт. (2007) – о снижении на 22–75% [Ferris et al., 1996, Whiffin et al., 2007].

В лабораторных условиях наблюдали снижение величины проницаемости образцов песчаного грунта с $2,27 \cdot 10^{-2}$ см/с до $6,05 \cdot 10^{-3}$ см/с и рост силы сжатия при неконсолидированном компрессионном испытании со 175 кПа до 255 кПа при содержании биогенно осажженного кальцита 2% [Kim, Park, 2013].

Биологическое осаждение кальцита в образцах кремнистого (содержание кварца 99,7%) слабосортированного песчаного грунта культурой *S. pasteurii* вызывало изменение его прочностных характеристик: увеличение силы сцепления между частицами грунта с 0 до 5,2 кПа и угла внутреннего трения с 33 град. до 43 град. [Chou et al., 2011].

Обработка песчаного грунта в течение 3 суток культурой *S. pasteurii* приводила к осаждению биогенного кальцита и росту силы сжатия при неконсолидированном компрессионном испытании до 1,7 МПа [Kucharski et al., 2012].

После обработки культурой *Bacillus sphaericus* и осаждении биогенного кальцита в тонкозернистых образцах чисто кремнистого песчаного грунта сила сцепления была выше, а угол внутреннего трения ниже, чем в грубозернистых образцах. Все образцы показали высокую стойкость к эрозии в результате замерзания–оттаивания [Cheng et al., 2013].

Прочность обработанных культурой *B. sphaericus* образцов грубозернистого песчаного грунта варьировала в пределах 0,85–2,07 МПа после осаждения в них биогенного кальцита [Cheng, Cord-Ruwisch, 2014].

Обработка образцов песчаного грунта в течение 7 суток культурами *B. sphaericus* и *Bacillus sp.* приводила к появлению в образцах кристаллов карбоната кальция и консолидации грунта. Образование карбоната кальция культурой *B. sphaericus* было выше, чем культурой *Bacillus sp.* (содержание CaCO_3 в грунте 8% и 3,4%, соответственно), образовавшиеся кристаллы различались по форме. Величина прочности на разрыв в образцах достигала 92 кПа и 48 кПа, соответственно [Shirakawa et al., 2011].

Исследования Садеги и соавт. (2015) показали, что самым важным фактором при биогенном осаждении кальцита является тип грунта, затем идут время обработки и концентрация раствора [Sadeghi et al., 2015].

Мортенсен и соавт. (2011) наблюдали увеличение прочности образцов песчаного грунта в результате образования кальцита, связывающего частицы грунта, при внесении культуры *S. pasteurii*. При этом в хорошо сортированных грубозернистых песках скорость образования кальцита оказалась выше, чем в тонкозернистых слабосортированных, то есть осаждение кальцита зависело от количества контактов между частицами грунта [Mortensen et al., 2011].

Активирование автохтонных уреолитических микроорганизмов слабосортированного песчаного грунта приводило к повышению в нем содержания кальцита до 2,4% и росту прочности с 2–2,5 МПа до 4,5–6 МПа при испытаниях коническим пенетрометром [Burbank et al., 2011].

Используя культуру *S. pasteurii*, Гомез и соавт. (2014) в полевом эксперименте добились образования жесткой корки толщиной 2,5 см на поверхности рыхлого песчаного грунта и изменения свойств грунта до глубины 28 см после 5 циклов обработки в течение 20 дней. При этом содержание кальцита в грунте изменялось от 0% в необработанном грунте до 0,5–2,1% в поверхностном слое и 0,5% на глубине 5–10 см в обработанном грунте [Gomez et al., 2014].

Запатентован способ осаждения карбоната кальция в грунте с целью улучшения его механических свойств путем активирования автохтонных уреолитических микроорганизмов грунта [Crawford et al., 2013].

По мнению Ясухара и соавт. (2012), использование фермента уреазы вместо бактериальной культуры позволяет добиться более контролируемых условий при проведении цементации [Yasuhara et al., 2012]. В лабораторном опыте с колонкой, заполненной гранулированным силикагелем и иммобилизованной на нем уреазой, наблюдали образование частиц кальцита предпочтительно в точках контакта между частицами силикагеля. Гидравлическая проницаемость колонок при этом снижалась на 23–28%, а эффективная пористость с 0,35 до 0,27 [Redden et al., 2014].

Ясухара и соавт. (2012) для цементации песчаного грунта вместо бактериальной культуры использовали фермент уреазу, что облегчало техническое выполнение работ в связи с отсутствием необходимости культивирования микроорганизмов и их внесения в грунт. В обработанных образцах, где новоосажденный кальцит занял менее 10% порового объема, более чем на порядок величины снизилась проницаемость, а сила сжатия при неконсолидированном компрессионном испытании находилась в пределах 0,4–1,6 МПа [Yasuhara et al. 2012].

Nemati, Voordouw (2003) наблюдали снижение проницаемости песчаника на 98% при образовании кальцита в результате ферментативной обработки породы.

Запатентован способ использования фермента уреазы для осаждения карбонатных минералов в инженерно-геологических целях [Kavazanjian, Hamdan, 2015].

Другим ферментом, который может быть использован для осаждения кальцита, считают карбоангидразу, катализирующую взаимопревращение углекислого газа и воды в бикарбонат-ион и протон:



[Dade-Robertson et al., 2017, Han et al., 2013].

Метаболизм культуры *B. cereus* приводил к выпадению в среде кристаллов кальцита иррегулярной формы, биологическая опосредованность образования которых подтверждалась исследованиями изотопов углерода – величина $\delta^{13}\text{C}$ новообразованного кальцита была -10,86‰, в то время как для среды она была равной -9,256‰ (в сравнении со стандартом $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$). То есть культура *B. cereus* метаболизировала органические соединения среды до углекислого газа, который затем реагировал с ионами кальция среды, образуя осадок кальцита [Han et al., 2013].

Использование способности микроорганизмов к осаждению кальцита может найти широкое применение в мелиорации грунтов, включая иммобилизацию загрязняющих веществ, предотвращение эрозии, стабилизацию склонов и фундаментов сооружений, стабилизацию грунтов при прокладке тоннелей,

укрепление грунтовых дамб и плотин [Gomez et al., 2014, Phillips et al., 2013]. Использование микроорганизмов, осаждающих карбонат кальция, предлагается даже для изготовления конструкционных материалов [Dosier, 2014].

Аварийные ситуации на нефтехранилищах как местного, так и мирового масштаба (например, разгерметизация резервуара с дизельным топливом в г. Норильске) требуют, с одной стороны, повысить несущую способность грунтового основания, а с другой, понизить проницаемость грунтов. Для решения вышеприведенной проблемы с резервуарами, расположенными в Пермском крае, в пределах дамбы обвалования грунты до глубины 0,2-0,3 м должны характеризоваться модулем деформации (E) 24-26 МПа и коэффициентом фильтрации (K_f) 1-2 м/сут. для повышения защищенности подземного водоносного горизонта от загрязнения с поверхности [Середин, 1998]. Нами были проведены исследования по формированию состава и свойств твердой компоненты дисперсного грунта, а именно, снижению фильтрационных характеристик за счет осаждения кальцита в поровом пространстве грунта при активировании жизнедеятельности автохтонных уреоолитических микроорганизмов грунта с целью повышения защищенности подземного водоносного горизонта от загрязнения с поверхности при размещении промышленных объектов.

2.2. Формирование состава твердой компоненты дисперсного грунта

2.2.1. Оценка состояния грунта

Опыты по формированию состава твердой компоненты грунта проводили на полигоне, расположенном в сосновом бору на территории г. Перми на правом

берегу р. Кама, где под тонким дерново-почвенным слоем залегают аллювиальные пески четвертичного возраста – песок мелкий до глубины 0,2 м и песок средней крупности ниже, подстилаемые тугопластичным суглинком. Лабораторные исследования проводились по общепринятым методикам в соответствии с ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» и ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического микроагрегатного состава», компрессионные испытания проводились на приборе КПП-1М с одометром (Россия) в соответствии с ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Номенклатура грунтов определялась в соответствии с ГОСТ 25100-2011. Характеристика гранулометрического состава, физических и физико-механических свойств грунта приведена в таблице 2-1. Минеральный состав грунта представлен в таблице 2-2.

2.2.2. Оценка микробной составляющей грунта

Для определения численности отдельных физиологических групп микроорганизмов в пробах грунта и воды из тела плотины использовали метод посева из предельных десятичных разведений на соответствующие элективные среды [Методы..., 1991].

Предельные десятичные разведения проб готовили в стерильном фосфатно-солевом буферном растворе для разведений следующего состава: NaCl – 8,5 г, KH_2PO_4 – 0,3 г, Na_2HPO_4 – 0,6 г, вода дистиллированная – 1 л [Герхардт, 1983]. Буферный раствор стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин.

Для приготовления первого десятичного разведения пробы грунта 1 г грунта помещали в стерильную коническую плоскодонную колбу объемом 250 см³, добавляли 100 мл стерильного буферного раствора для разведений и

Таблица 2-1 – Гранулометрический состав и физико-механические свойства грунта [Demenev et al., 2021]

Наименование грунта	Глубина залегания, м	Плотность, г/см ³	Коэффициент пористости	Модуль деформации E , МПа	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Гранулометрический состав, %					
						2,0- 0,5 мм	0,5- 0,25 мм	0,25- 0,1 мм	0,1- 0,05 мм	0,05- 0,005 мм	0,005 мм и менее
Песок мелкий	0,2	1,64	0,725	13,33	5,0-5,76	3,81	44,38	46,36	5,45		
Песок средней крупности	0,4	1,74	0,737	16,00		2,51	63,36	25,38	8,75		
Суглинок	1,2	1,78	0,751	18,00	0,45		1,39	11,51	20,0	47,18	18,92

Таблица 2-2 – Минеральный состав грунта [Demenev et al., 2021]

Наименование грунта	Содержание, мас. %				
	Кварц	Полевые шпаты	Гидрослюды	Кальцит	Гипс
Песок мелкий	84,2	12,3	3,5	ниже уровня определения	ниже уровня определения

обрабатывали ультразвуком на установке Sonoplus HD 2070 с зондом MS 73 при частоте 20 кГц и мощности 50% в течение 2 мин на режиме № 5 (0,5 сек. работы, 0,5 сек. перерыв) для десорбции бактериальных клеток с частиц грунта. Последующие десятичные разведения пробы грунта готовили согласно [Методы..., 1991].

Для аэробных гетеротрофных микроорганизмов использовали среду следующего состава: мясо-пептонный бульон сухой – 1,5 г, глюкоза – 1 г, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 10 мл во флаконы объемом 25 см³, флаконы со средами стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин.

Для аммонифицирующих микроорганизмов, способных метаболизировать мочевины, использовали среду Зенгена следующего состава: мочевины - 20 г/л, мясопептонный бульон (МПБ) - 1,5 г/л, для контроля за изменением pH среды использовался индикатор бромтимоловый синий. Среду стерилизовали фильтрацией через мембранный фильтр с диаметром пор 0,2 мкм и разливали по 20 мл в стерильные флаконы объемом 25 см³.

Для денитрифицирующих микроорганизмов использовали среду следующего состава: мясо-пептонный бульон сухой – 1,5 г, глюкоза – 1 г, KNO₃ – 2 г, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 20 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева среду заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха.

Для микроорганизмов, восстанавливающих железо (III), использовали среду Бромфилда следующего состава: KН₂РO₄ – 0,5 г, (NH₄)₂SO₄ – 1 г, MgSO₄·7H₂O – 0,2 г, глюкоза – 1 г, мясо-пептонный бульон сухой – 0,3 г, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 20 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева во флаконы добавляли 1 мл 60% раствора FeCl₃, среду заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха.

Оценка микробной составляющей грунта показала наличие в ней гетеротрофных аэробных микроорганизмов, способных использовать органические соединения для своего роста, в количестве до нескольких миллионов кл/г. Количество аммонифицирующих микроорганизмов, способных метаболизировать мочевины, достигало 1 млн. кл/г. В грунте также обнаружены микроорганизмы, способные к денитрификации и восстановлению железа (каждая группа в количестве нескольких тысяч кл/г). Все выявленные группы микроорганизмов в процессе своего роста на органических соединениях образуют углекислый газ и, следовательно, активизация их жизнедеятельности будет способствовать выпадению кальцита при наличии в среде ионов кальция. В таблице 2-3 показано воздействие данных групп микроорганизмов на компоненты грунта.

Однако, аэробные условия среды не благоприятствуют развитию денитрифицирующих и железовосстанавливающих микроорганизмов. Более того, для их активирования потребовалось бы не только создание анаэробных условий среды, но и внесение биомассы этих микроорганизмов вследствие их невысокой численности. Активирование денитрифицирующих микроорганизмов требует также дополнительного внесения в среду нитратных солей. Следует учесть, что жизнедеятельность железовосстанавливающих микроорганизмов обычно сопровождается разрушением железистого цемента, скрепляющего частицы грунта, и снижением прочностных характеристик грунта, которые будет необходимо компенсировать образованием кальцитового цемента. Осаждению кальцита благоприятствуют щелочные условия среды, поэтому при использовании аэробных гетеротрофных микроорганизмов вместе с органическим веществом потребуется внесение щелочных добавок. Использование же аммонифицирующими микроорганизмами мочевины сопровождается не только образованием углекислого газа, но и защелачиванием среды вследствие выделения аммиака. Эти причины предопределили выбор аммонифицирующих микроорганизмов для их последующего использования.

Таблица 2-3 – Влияние микроорганизмов дисперсного грунта на его свойства

Изменение свойств дисперсного грунта			Группа микроорганизмов	Процессы в твердой компоненте грунта
твердая компонента	жидкая компонента	газовая компонента		
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH порового раствора	Не изменяется	Аэробные гетеротрофные микроорганизмы	Осаждение CaCO_3 в поровом пространстве
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH порового раствора	Не изменяется	Аммонифицирующие микроорганизмы	Осаждение CaCO_3 в поровом пространстве
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH порового раствора и снижение влажности	Увеличение газоносности и газосодержания	Денитрифицирующие микроорганизмы	Осаждение CaCO_3 в поровом пространстве
Уменьшение пористости и увеличение прочности грунта	Увеличение pH порового раствора	Не изменяется	Железовосстанавливающие микроорганизмы	Осаждение CaCO_3 в поровом пространстве, растворение железистого цемента

Таким образом, в исследуемом грунте выявлены и сгруппированы микроорганизмы, оказывающие влияние на формирование его состава и свойств. Для изменения свойств грунта была разработана технология активирования микроорганизмов.

2.2.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов

В лабораторных условиях исследовали возможность активации жизнедеятельности аммонифицирующих уреолитических микроорганизмов грунта добавкой мочевины, для чего определяли газообразующую способность микроорганизмов грунта по способу [Максимович, Хмурчик, 2016]. В коническую плоскодонную колбу объемом 250 см³ помещали 100 г исследуемого грунта, добавляли 10 г мочевины, содержимое колбы перемешивали, закрывали колбу резиновой пробкой с подсоединенным к ней стеклянным манометром и инкубировали при комнатной температуре, периодически снимая показания манометров. Опыты проводили в двукратной повторности. Активация аммонифицирующих уреолитических микроорганизмов грунта мочевиной показала, что объем выделенного газа возрастал на 7 сутки и существенно уменьшался на 15 сутки [Оценка..., 2011].

Проводили лабораторные исследования влияния количества аммонифицирующих уреолитических микроорганизмов (их биомассы) в грунте на его свойства. Для этого из грунта на среде Зенгена (см. выше) была выделена накопительная культура уреолитических микроорганизмов, а затем на среде того же состава выращена ее биомасса. Биомассу уробактерий отделяли центрифугированием в течение 5 минут при 3000 об./мин. и вместе с раствором для цементации, содержащем 1,5 г/л сухого мясо-пептонного бульона, 20 г/л мочевины и 37,5 г/л CaCl₂, вносили в образцы грунта в количестве до 1,6 г/кг грунта [Demenev *et al.*, 2021]. После 9 суток инкубации образцов при комнатной

температуре определяли их гранулометрический состав, физические и физико-механические свойства, которые представлены в таблице 2-4.

Из данных таблиц 2-1 и 2-4 видно, что увеличение численности (биомассы) уреолитических микроорганизмов приводило к росту модуля деформации грунта с 13,33 МПа до 24,99 МПа и снижению коэффициента пористости до 0,525. При этом наблюдалась прямая нелинейная статистически значимая зависимость между количеством внесенной биомассы и модулем деформации ($r = 0.73$ при $p = 0.002$). По результатам исследований для стимулирования роста в грунте численности аммонифицирующих уреолитических микроорганизмов был подобран состав питательной среды, содержащей глюкозу и мясо-пептонный бульон, а для активирования их жизнедеятельности – мочевины.

Проводили лабораторный эксперимент по подбору оптимального состава раствора для активирования микроорганизмов грунта и одновременной его цементации образующимся кальцитом. Выделения и наращивания аборигенных микроорганизмов не производили. Образцы грунта обрабатывали раствором из расчета 60 мл на 1 кг грунта. Раствор готовили на дистиллированной воде, в одном из вариантов использовали речную воду. Для минеральной основы раствора было взято стехиометрическое соотношение между кальцием и мочевиной в соответствии с уравнениями (2-1) и (2-4), при этом использовали концентрацию мочевины 20 г/л как в [Хазиев, 1976]. В вариантах опыта кратно увеличивали содержание глюкозы и мясо-пептонного бульона при сохранении соотношения их концентраций между собой. В одном из вариантов наряду с четырехкратной концентрацией питательных веществ использовали двукратную концентрацию минеральной основы и мочевины (таблица 2-5). После 21 суток выдержки определялись деформационные свойства проб грунта.

Результаты эксперимента показывают, что концентрация различных компонентов раствора, вносимого в несвязный песчаный грунт, влияет в дальнейшем на степень повышения его прочностных характеристик (рисунок 2-3).

При физико-механических испытаниях грунтов величина модуля деформации возрастала в прямой зависимости от роста концентрации

Таблица 2-4 – Гранулометрический состав и физико-механические свойства образцов грунта на 9 сутки после добавления биомассы уреолитических бактерий [Demenev *et al.*, 2021]

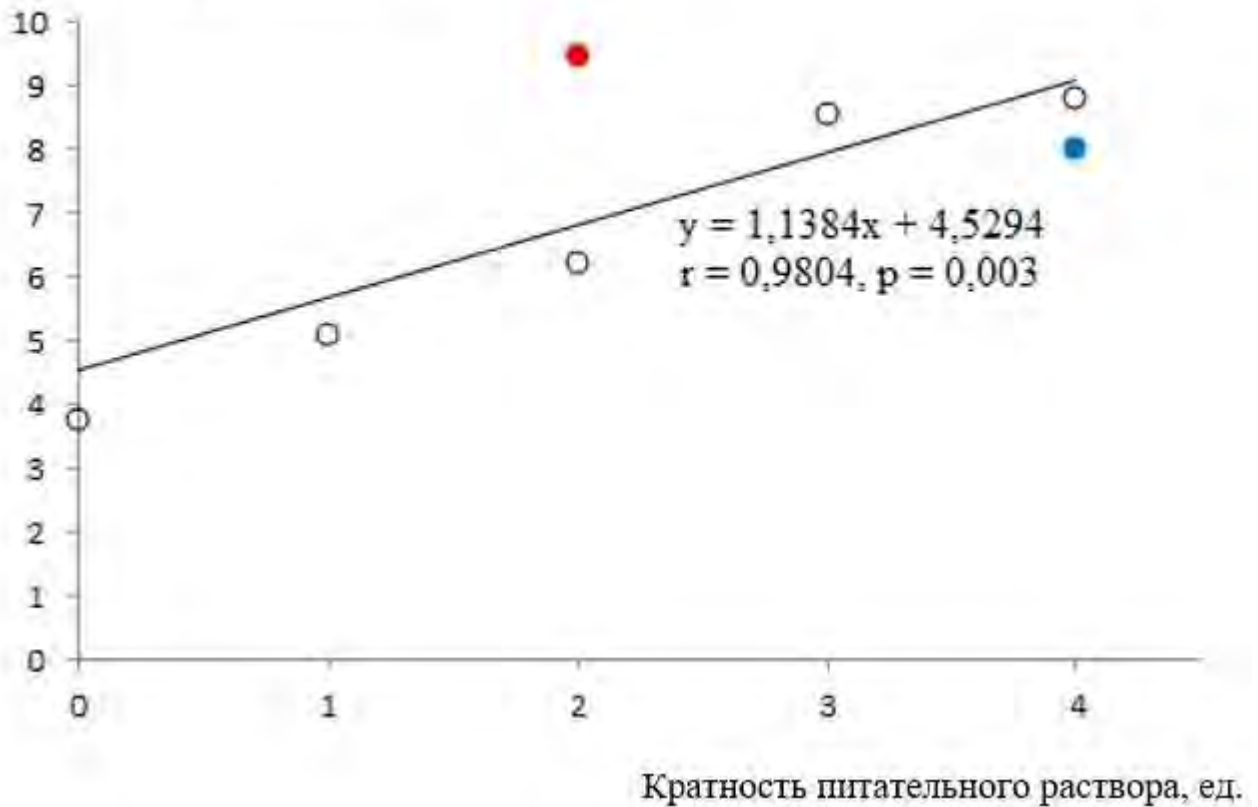
Наименование грунта	Естественная влажность, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	Плотность, г/см ³			Коэффициент пористости	Модуль деформации, МПа	Гранулометрический состав, %				Количество добавленной биомассы, г/кг
			частиц	естественная	скелета			2,0-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,1 мм	0,1-0,05 мм	
Песок мелкий	0,107	0,416	2,64	1,74	1,572	0,680	15,69	2,78	42,01	53,09	2,11	0
	0,033	0,121	2,65	1,59	1,539	0,722	15,63	3,03	44,54	50,28	2,15	0
	0,087	0,432	2,61	1,86	1,711	0,565	14,09	-	-	-	-	0
	0,047	0,165	2,65	1,58	1,509	0,756	17,89	3,43	44,01	50,41	2,15	0,5
	0,002	0,01	2,64	1,58	1,579	0,671	13,33	-	-	-	-	0,5
	0,047	0,165	2,65	1,58	1,509	0,756	15,63	-	-	-	-	0,5
	0,04	0,141	2,67	1,58	1,519	0,757	18,18	2,99	43,28	50,9	2,83	1,0
	0,04	0,141	2,67	1,58	1,519	0,757	15,88	2,95	43,3	50,91	2,84	1,0
	0,002	0,01	2,64	1,56	1,559	0,692	16,00	-	-	-	-	1,0
	0,003	0,01	2,64	1,67	1,669	0,581	14,54	-	-	-	-	1,0
	0,122	0,432	2,61	1,87	1,711	0,525	19,36	3,83	47,04	47,84	1,26	1,6
	0,116	0,543	2,61	1,87	1,676	0,558	17,54	3,68	43,46	50,64	2,21	1,6
	0,11	0,424	2,64	1,74	1,568	0,684	21,84	2,49	38,82	56,52	2,17	1,6
	0,11	0,424	2,64	1,74	1,568	0,684	24,99	-	-	-	-	1,6

«-» – не делали

Таблица 2-5 – Схема эксперимента по подбору оптимального состава раствора для активирования микроорганизмов
[Деменев, 2017]

Вода, используемая в растворе	Глюкоза, г/л	Мясо-пептонный бульон сухой, г/л	CaCl ₂ , г/л	Мочевина, г/л
1 дистиллированная	5	0,75	37,5	20
2 дистиллированная	10	1,5	37,5	20
3 дистиллированная	15	2,25	37,5	20
4 речная	10	1,5	37,5	20
5 дистиллированная	20	3,0	37,5	20
6 дистиллированная	20	3,0	75	40

Модуль деформации E , МПа



Красным цветом показано значение величины модуля деформации, полученное при использовании речной воды для приготовления раствора 2-кратной концентрации питательных веществ (раствор 4).

Синим цветом показано значение величины модуля деформации, полученное при использовании 4-кратной концентрации питательного раствора и 2-кратной концентрации мочевины и хлорида кальция (раствор 6).

Рисунок 2-3 – Изменение величины модуля деформации грунта с активированными уреолитическими микроорганизмами в зависимости от концентрации раствора, используемого для активирования [Деменев, 2017]

компонентов раствора, что могло быть следствием возрастания в грунте количества осажженного кальцита в результате стимуляции увеличения общего количества микроорганизмов поступающими органическими соединениями. Максимальная величина модуля деформации зафиксирована в образцах 3 и 5 (не считая образец 4) при их незначительном различии между собой (разница на 1,5%). При этом концентрация компонентов в растворе, вносимом в образец 3, составляла половину от максимальной концентрации раствора, вносимого в образец 6. В образце 6 (максимальная из используемых концентрация питательных веществ и мочевины) модуль деформации грунта также незначительно отличался от такового в образцах 3 и 5 (разница на 6–7%), что может являться результатом достижения величиной модуля деформации определенного предела, вероятно связанного с максимально возможной скоростью разложения мочевины микроорганизмами и, соответственно, образования кальцита. Максимальная величина модуля деформации зафиксирована у образца 4, что, по-видимому, связано с используемой для раствора речной водой, которая в отличие от дистиллированной воды содержит дополнительную биомассу микроорганизмов, способных к разложению мочевины. Таким образом, для активирования микроорганизмов с целью укрепления несвязного песчаного грунта оптимальным является раствор следующего состава: глюкоза – 15 г/л, мясо-пептонный бульон сухой – 2,25 г/л, хлорид кальция, CaCl_2 – 37,5 г/л, мочевина – 20 г/л.

2.2.4. Разработка технологии формирования состава и свойств твердой компоненты грунта

Разработали технологию формирования свойств грунта активированием жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов, которая осуществляется поэтапно: на первом этапе производится обработка грунта

раствором для активирования микроорганизмов, на втором этапе грунт обрабатывается раствором для осаждения биогенного кальцита (цементационная обработка). Обработка второго этапа проводится через 10 сут. после обработки первого этапа. Обязательными компонентами раствора для осаждения биогенного кальцита являются CaCl_2 (в количестве 37 г/л) и мочевина (20 г/л).

Было разработано четыре технологические схемы обработки грунта (рисунок 2-4), отличающиеся как количеством обработок грунта и, соответственно, общей длительностью обработки, так и расчетным количеством осажденного кальцита, коэффициентом пористости и финансовыми затратами на обрабатываемые растворы (рисунок 2-5). В результате для использования в полевых условиях были выбраны две схемы обработки грунта – схемы № 3 и 4.

Для исследований *in situ* в полевых условиях на полигоне было подготовлено 4 площадки с ровной поверхностью размером 1,0 x 1,0 м, с которых был полностью удален верхний дерново-почвенный слой: 2 площадки были опытными, 2 использовались в качестве контроля.

Для первой обработки опытных площадок использовали по 40 литров раствора для стимулирования роста и активирования жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов, содержащего 200 г мочевины, 40 г глюкозы, 60 г сухого мясо-пептонного бульона. В одну из опытных площадок в качестве биодополнения внесли жидкую культуру аммонифицирующих микроорганизмов, содержащую 4 г сырой биомассы (в соответствии с технологической схемой № 4). В контрольные площадки вносили по 40 литров воды.

Вторая обработка, цементационная, проводилась через 10 суток после первой. Для опытных площадок использовали по 40 литров раствора, содержащего 1480 г CaCl_2 , 800 г мочевины, 40 г глюкозы, 4 г сухого мясо-пептонного бульона. В контрольные площадки вносили по 40 л воды. Обработку повторяли еще два раза с интервалами между обработками 10 суток.

Через 14 дней после последней обработки исследовали фильтрационные характеристики грунта площадок с помощью полевого инфильтрометра

Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
2-этапная обработка грунта: 1 этап – обработка активизирующим раствором; 2 этап – обработка раствором: CaCl_2 37 г/л, мочевина 20 г/л, глюкоза 15 г/л, сухой мясо-пептонный бульон 2,25 г/л.	4-этапная обработка грунта: 1 этап – обработка активизирующим раствором; 2-4 этапы – обработка раствором: CaCl_2 37 г/л, мочевина 20 г/л, глюкоза 15 г/л, сухой мясо-пептонный бульон 2,25 г/л.	4-этапная обработка грунта: 1 этап – обработка активизирующим раствором; 2-4 этапы – обработка раствором: CaCl_2 37 г/л, мочевина 20 г/л, глюкоза 1 г/л, сухой мясо-пептонный бульон 0,1 г/л.	4-этапная обработка грунта: 1 этап – обработка активизирующим раствором и внесение 4 г/м² биомассы; 2-4 этапы – обработка раствором: CaCl_2 37 г/л, мочевина 20 г/л, глюкоза 1 г/л, сухой мясо-пептонный бульон 0,1 г/л.

Рисунок 2-4 – Состав растворов разных технологических схем обработки грунта

Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
Продолжительность работ 10 сут., анализ свойств грунта на 17 сут.	Продолжительность работ 30 сут., анализ свойств грунта на 37 сут.	Продолжительность работ 30 сут., анализ свойств грунта на 37 сут.	Продолжительность работ 30 сут., анализ свойств грунта на 37 сут.
Расчетное количество осажденного CaCO_3 – 1,5 кг	Расчетное количество осажденного CaCO_3 – 4,5 кг	Расчетное количество осажденного CaCO_3 – 4,5 кг	Расчетное количество осажденного CaCO_3 – 4,5 кг
Расчетный коэффициент пористости – 0,715	Расчетный коэффициент пористости – 0,701	Расчетный коэффициент пористости – 0,701	Расчетный коэффициент пористости – 0,701
Стоимость раствора для цементационных обработок – 32500 руб/м ³	Стоимость раствора для цементационных обработок – 32500 руб/м ³	Стоимость раствора для цементационных обработок – 16150 руб/м ³	Стоимость раствора для цементационных обработок – 16150 руб/м ³

Стоимость раствора для цементационной обработки рассчитана по розничным ценам на ноябрь 2021 г.

Рисунок 2-5 – Характеристика разных технологических схем обработки грунта

(«Eijkelkamp Soil & Water», Нидерланды), а также отбирали пробы грунта с поверхности площадок (далее – песок мелкий) и с глубины 0,2 м (далее – песок средней крупности) для анализа их гранулометрического состава, физических характеристик, минерального состава.

Результаты исследования гранулометрического состава грунта и его физических характеристик представлены в таблице 2-6. Плотность грунта верхней части разреза с активированными микроорганизмами по отношению к исходному грунту возрастала с 1,64 г/см³ до 1,72 г/см³, а пористость и коэффициент фильтрации уменьшались соответственно с 0,725 до 0,682 и с 5,76 м/сут до 1,04 м/сут. Подобные же изменения были характерны для верхнего слоя песка средней крупности, отобранного с глубины 0,2 м. То есть глубина обработки грунта при используемой технологии была не менее 0,2 м.

Результаты опыта с добавлением в грунт биомассы аммонифицирующих микроорганизмов в количестве 4 г/м² оказались несколько хуже опыта по стимуляции аборигенной аммонифицирующей микрофлоры. Причиной этого может быть разница изначальных фильтрационных характеристик площадок или неравномерное распределение новообразованного карбонатного цемента в грунте, что повлияло на скорость фильтрации воды при проведении измерений.

Активация микроорганизмов грунта влияла также и на его минеральный состав (таблица 2-7). Результаты рентгено-дифракционного анализа показали, что в грунте появляется кальцит, содержание кварца уменьшается с 84,2% до 77%, а содержание глинистых минералов (гидрослюд), наоборот, увеличивается с 3,5% до 7,2%.

Результаты электронной микроскопии показали, что активирование жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов песчаного грунта добавлением мочевины и органических соединений вызывает образование частиц кальцита, заполняющих поровое пространство грунта (рисунки 2-6, 2-7).

Таблица 2-6 – Формирование свойств грунта в полевых условиях активированием аммонифицирующих микроорганизмов [Demenev *et al.*, 2021]

Вид грунта	Плотность, г/см ³	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Гранулометрический состав, %				Технология обработки
				2,0-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,1 мм	0,1-0,05 мм	
Песок мелкий	1,64	0,725	5,0-5,76	3,81	44,38	46,36	5,45	Природные условия
Песок средней крупности	1,74	0,737		2,51	63,36	25,38	8,75	
Песок мелкий	1,70	0,692	1,04	2,51	53,02	38,52	5,94	По схеме № 3
	1,72	0,682		2,40	50,61	36,77	10,22	
Песок средней крупности	1,68	0,682		3,37	65,15	26,82	4,65	
	1,71	0,650		3,20	61,78	25,43	9,59	
Песок мелкий	1,69	0,692	3,50	1,85	50,30	38,17	9,67	По схеме № 4
	1,68	0,692		1,94	52,70	39,99	5,37	
Песок средней крупности	1,55	0,796		2,12	53,78	37,92	6,19	
	Н.д.	Н.д.		2,04	51,94	36,62	9,39	

Н.д. – не делали.

Таблица 2-7 – Изменение минерального состава грунта при активировании микроорганизмов [Demenev *et al.*, 2021]

Наименование грунта	Содержание, %					Технология обработки
	Кварц	Полевые шпаты	Гидрослюды	Кальцит	Гипс	
Песок мелкий	84,2	12,3	3,5	ниже уровня определения	ниже уровня определения	Природные условия
	77,0	12,7	7,2	3,1	ниже уровня определения	По схеме № 3
	79,8	12,8	4,9	2,5	ниже уровня определения	По схеме № 4

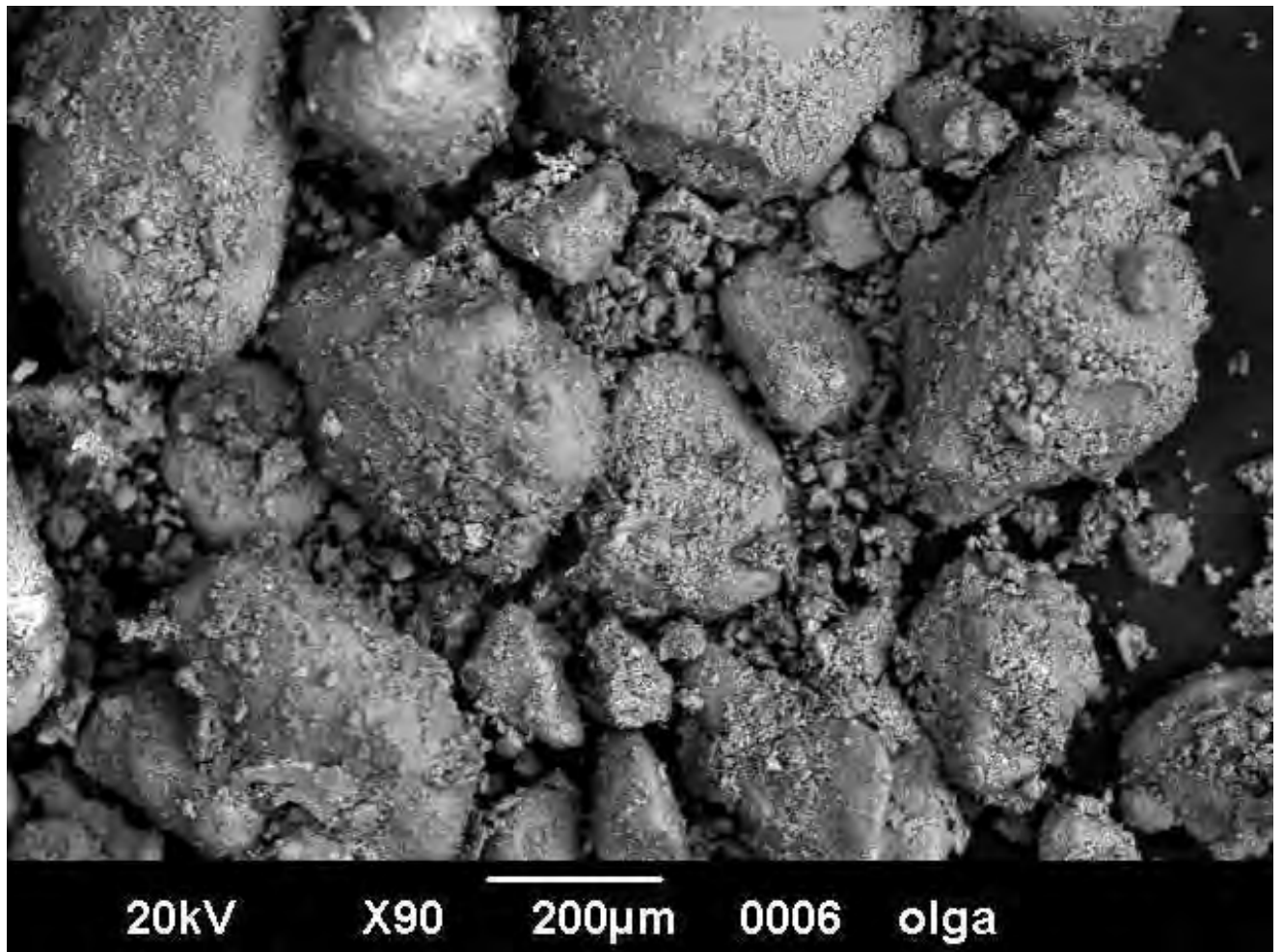


Рисунок 2-6 – Мелкозернистый кальцит между зернами кварца и полевого шпата в образце грунта, обработанного по схеме № 3 [Demenev et al., 2021]

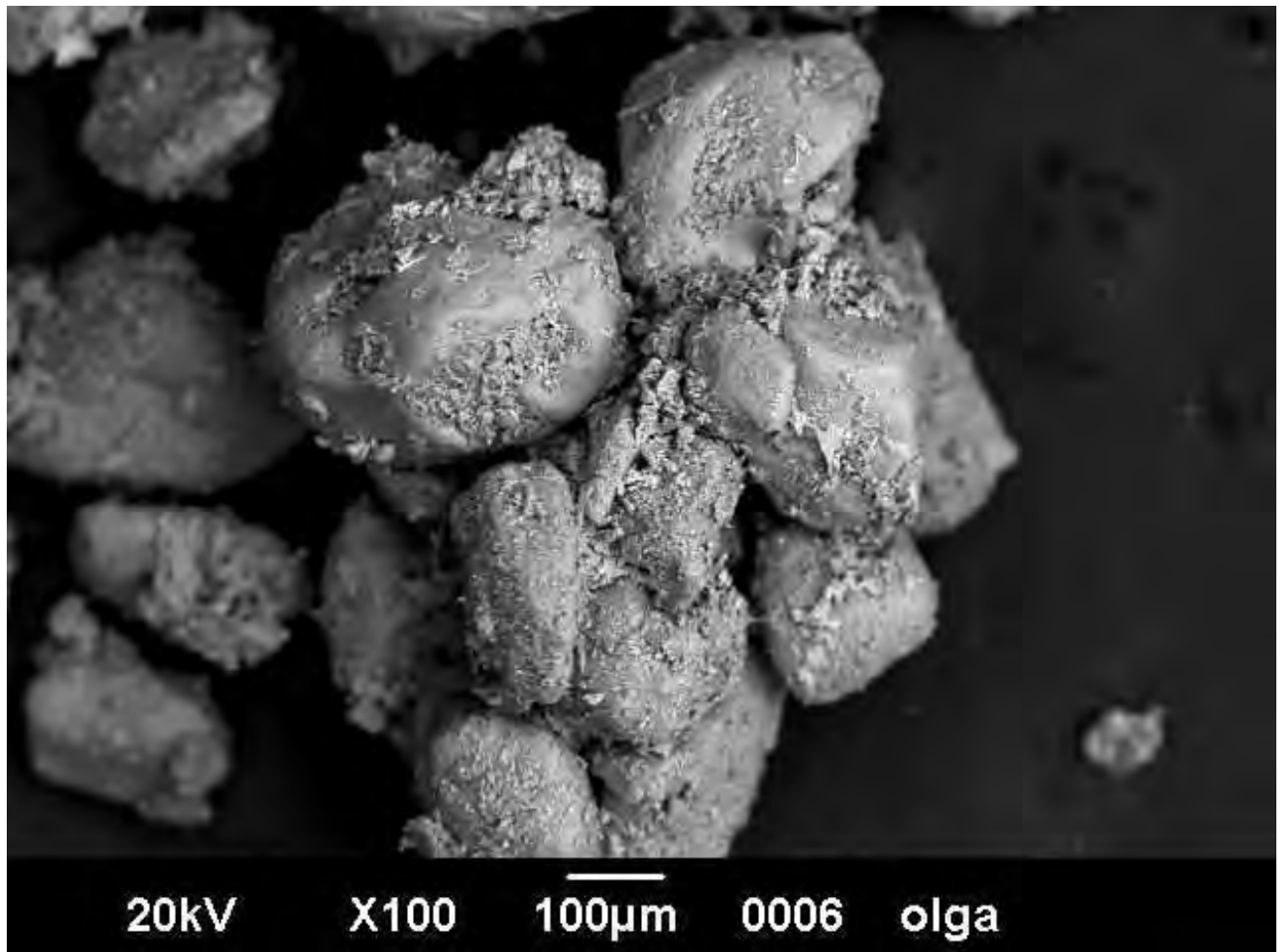


Рисунок 2-7 – Скопления зерен кварца и полевых шпатов, сцементированных вторичным кальцитом, в образце грунта, обработанного по схеме № 4 [Demenev et al., 2021]

Таким образом, активизация автохтонных уреолитических микроорганизмов дисперсного песчаного грунта приводила к изменению его минерального состава и физико-механических свойств в результате выпадения в поровом пространстве грунта биогенного кальцита.

Результаты наших исследований, а также исследований других авторов показывают, что при активировании жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов в грунте протекают следующие процессы: разложение мочевины с образованием углекислого газа и аммиака и защелачивание среды. Добавление в среду ионов кальция приводит к образованию и осаждению кальцита. В результате выпадения в поровом пространстве кальцита происходит снижение пористости и коэффициента фильтрации грунта, образование в грунте новых структурных связей и рост прочностных и деформационных свойств грунта.

Таким образом, технология формирования состава и свойств твердой компоненты грунта путем активирования жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов грунта была апробирована в полевых условиях. Результаты исследования были защищены патентом на изобретение (Патент РФ № 2646279).

Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ЖИДКОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА

3.1. Подземные воды, загрязненные углеводородами

3.1.1. Микроорганизмы и углеводородное загрязнение подземных вод

Углеводороды и гетероциклические соединения нефти и нефтепродуктов – самые распространенные загрязнители подземных вод. Традиционно считается, что загрязнение окружающей среды нефтепродуктами связано с аварийными разливами нефти при ее добыче, транспортировке и переработке – экологические проблемы обостряются с увеличением добычи нефти [Максимович, Хайрулина, 2011]. Вместе с тем, Оборин и соавт. (2008) выделяют 3 типа процессов загрязнения окружающей среды нефтепродуктами: техногенные, природные и природно-техногенные.

Техногенным процессам, обуславливающим загрязнение геологической среды нефтью и нефтепродуктами посвящена обширная научная литература как в России, так и за рубежом. Достаточно отметить, что потери нефти к концу XX века составляли 4,5 млн. т. в год [Середин и соавт., 2000].

К природным процессам относятся процессы формирования на поверхности естественных нефтегазопроявлений, которые встречаются во всех частях света и в отложениях всех возрастов [Оборин и соавт., 2008].

Многолетняя интенсивная эксплуатация нефтяных месторождений определяет влияние техногенного фактора на природные условия неотектонического строения приповерхностных горизонтов литосферы и формирование приповерхностных нефтепроявлений за счет природно-техногенных процессов [Оборин и соавт., 2008].

Вне зависимости от типа процесса, обусловившего поступление нефти и нефтепродуктов в геологическую среду, происходит их разрушение как в результате физико-химических, так и биологических процессов. Начиная с 70-х гг. XX века ведется разработка способов интенсификации биологической деградации нефти и нефтепродуктов в почвах и подземных водах.

Биодеградация нефти и других углеводородов – это комплексный процесс, который зависит от природы и количества присутствующих углеводородов, условий окружающей среды, климата, состава автохтонных микробных сообществ. В процессах превращения углеводородов в природе важную роль играют многие группы микроорганизмов, обладающие способностью использовать углеводороды в качестве единственного источника углеродного питания. Существует обширные исследования, посвященные таким микроорганизмам. Физико-химические процессы играют существенную роль в самоочищении биоценозов от нефти и нефтепродуктов, однако полной их деструкции не происходит – она возможна лишь при участии углеводородокисляющих микроорганизмов.

В обычных условиях доля углеводородокисляющих бактерий в общем гетеротрофном сообществе крайне вариабельна и может составлять для морских бактерий от 0,003 до 100% [Hollaway et al., 1980, Mulkins-Phillips, Stewart, 1974]. После нефтяного загрязнения естественные микробные популяции адаптируются к деградации углеводородов после примерно 4 дней [Swannell et al., 1996]. Наблюдается возрастание численности углеводородокисляющих бактерий, которое, например, для штамма *Arthrobacter sp.* было прямо пропорционально концентрации нефти в среде в интервале значений концентрации 0,05–1,0 мг/мл [Reisfeld et al., 1972].

Практически все классы углеводородов подвергаются биодеградации. Скорость биодеградации углеводородов снижается в ряду: *n*-алканы – разветвленные алканы – разветвленные алкены – низкомолекулярные *n*-алкилароматические – моноароматические – циклоалканы – полиароматические – асфальтены [Leahy, Colwell, 1990, Van Hamme et al., 2003]. Однако, данная

последовательность не является универсальной – в морских отложениях наблюдалась интенсивная биodeградация алкилароматических компонентов сырой нефти до того, как возникли изменения в составе ее *n*-алкановых компонентов [Jones et al., 1983], аналогичное явление было отмечено и для микробной популяции морских вод [Fedorak, Westlake, 1981]. Для полиароматических углеводородов скорость биodeградации снижается в ряду: нафталин – флуорен – дибензотиофен – фенантрен – флуорантен – пирен – хризен; для алкилированных соединений внутри каждого семейства полиароматических углеводородов: метилзамещенные – этилзамещенные – пропилзамещенные [Coulon et al., 2007]. Хотя сам факт того, что чем тяжелее нефть, тем она устойчивее к биodeградации, был отмечен еще раньше [Atlas, 1975].

Установлено, что чистые культуры микроорганизмов могут деградировать только узкий ряд углеводородов. Соответственно, смешанные популяции имеют более широкие ферментативные возможности и способны деградировать смеси более сложного углеводородного состава [Leahy, Colwell, 1990, Deppe et al., 2005]. Поскольку в водных средах углеводороды деградируют со скоростью, превышающей скорость их растворения в воде, был сделан вывод, что у микроорганизмов выработаны специальные механизмы для захвата углеводородов [Deppe et al., 2005]. Скорость деградации может быть лимитирована доступностью для микроорганизмов связанных форм азота и фосфора [Bragg et al., 1994, Swannell et al., 1996, Schafer et al., 2001]. Теоретически, для конверсии 1 г углеводородов в клеточный материал требуется 150 мг азота и 30 мг фосфора [Rosenberg et al., 1992]. Добавление соединений азота и фосфора стимулировало микробную деградацию углеводородов в подземных водах. Считается, что оптимальные концентрации фосфора для биodeградации углеводородов составляют $2-8 \cdot 10^{-4}$ М для морских вод и $1,5-3 \cdot 10^{-3}$ М для прибрежных морских вод, имеющих значительное поступление пресных вод [Atlas, 1981]. Ряд исследователей считают, что еще одним важным элементом минерального питания микроорганизмов, ограничивающим биологическую продуктивность и биodeградацию нефти в водной среде, может

быть железо. Добавление хелатов железа в образцы нефтезагрязненной воды оказывало стимулирующий эффект на биodeградацию углеводов [Dibble, Bartha, 1976]. Существует множество статей, описывающих чистые и смешанные культуры бактерий, способных к деградации нефти, в которых можно выделить три общих момента: 1) способность к деградации нефти зависит от добавки экзогенных источников азота и фосфора; 2) низкомолекулярные *n*-алканы разрушаются быстрее всего; 3) смешанные культуры микроорганизмов делают это интенсивнее чистых культур [Horovitz et al., 1975].

Процессы деградации нефти являются температурозависимыми, и в то же время они зависят и от свойств самой нефти: вязкости, содержания восков и т.д. [Brakstad, Bonaunet, 2006]. При низких температурах вследствие повышения вязкости снижается текучесть нефти; наблюдается переход ароматических углеводов из жидкой фазы, в которой они были доступны для микроорганизмов, в твердую фазу, в которой они микроорганизмами не метаболизируются; снижается испаряемость низкомолекулярных токсических соединений, и, как результат, происходит снижение скорости деградации нефти [Atlas, 1981, Leahy, Colwell, 1990]. В то же время низкая температура не является сама по себе лимитирующим фактором для биodeградации нефти в холодных средах, так как их автохтонные микробные сообщества адаптированы к деградации углеводов при низких температурах [Atlas, 1981]. Самая низкая температура, при которой наблюдалась относительно высокая скорость биodeградации нефти в водной среде, составляла 4 °C [Coulon et al., 2007]. При этом физические факторы, определяющие преимущественно перемещение и преобразование попавшей в водную среду нефти, служат лишь фоном, на котором происходит основная деградация нефтяных углеводов в результате химического и биологического их окисления [Леонов, Пищальник, 2005].

Рост за счет предельно восстановленных и нерастворимых в воде соединений, какими являются углеводороды, связан с формированием у углеводородоксиляющих бактерий ряда особенностей, отсутствующих у других бактерий. К этим особенностям относятся: возрастание роли пассивной диффузии

в поглощении субстрата в противовес активному транспорту, накопление резервного внутриклеточного материала (липиды и внутренний пул углеводов), отсутствие лимитации роста субстратом, поскольку развитие углеводородокисляющих бактерий происходит при прямом контакте с каплями (пленками) углеводов. Поскольку углеводороды окисляются внутри клеток, углеводородокисляющая активность штамма зависит прежде всего от его способности поглощать гидрофобный субстрат. Подавляющая часть бактерий использует водорастворимые соединения и имеет гидрофильную клеточную стенку. Бактерии, способные использовать углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии, выработали особые приспособления для поглощения этих нерастворимых в воде соединений. К таким приспособлениям относятся: образование гидрофобной клеточной стенки, формирование в клеточной стенке липофильных каналов, выделение в среду биоэмульгатора [Коронелли, 1996].

Микроорганизмы могут использовать нефть в качестве ростового субстрата как эмульгируя ее, так и без эмульгации [Horowitz et al., 1975]. Лабораторные опыты с чистыми культурами показали, что эмульсификация нефти бактериями зависит от экзогенных источников азота и фосфора [Reisfeld et al., 1972].

Микроорганизмы способны к деградации углеводов не только в аэробных условиях. Существуют бесспорные доказательства анаэробной деградации углеводов. В анаэробных условиях микроорганизмами, их консорциумами и накопительными культурами могут быть разрушены такие углеводороды как толуол [Edwards et al., 1992, Elshahed, McInerney, 2001, Langenhoff et al., 1997, Lovley, Lonergan, 1990, Lovley et al., 1989], бензол [Burland, Edwards, 1999, Caldwell et al., 1999, Holmes et al., 2011, Kazumi et al., 1997, Rooney-Varga et al., 1999], алкилбензолы, включая мета-, орто- и пара-ксилол и триметилбензол [Ball, Reinhard, 1996, Chen, Taylor, 1997, Edwards, Grbić-Galić, 1992, Häner et al., 1997, Kniemeyer et al., 2003, Krieger et al., 1999, Mechichi et al., 2002, Phelps, Young, 1999], нафталин и фенантрен [Bedessem et al., 1997, Coates et al., 1996, Meckenstock et al., 2000, Zhang, Young, 1997], метилнафталин и тетралин

[Annweiler et al., 2000, 2002], *n*-алканы с длиной цепи более 6 углеродных атомов [Aeckersberg et al., 1991, 1998, Aitken et al., 2013, Anderson, Lovley, 2000, Caldwell et al., 1998, Callaghan et al., 2006, 2009, 2012, Ehrenrich et al., 2000, Kropp et al., 2000, Rabus et al., 2001, Rueter et al., 1994, So et al., 2001, 2003], разветвленные алканы [Aitken et al., 2013, Bregnard et al., 1996, 1997], ненасыщенные алканы [Khelifi et al., 2010, Rontani et al., 2002], нафтенновые кислоты [Holowenko et al., 2001], метил-*трет*-бутиловый эфир [Bradley et al., 2001], смеси углеводов [Acosta-González et al., 2013, Grishchenkov et al., 2000, Hutchins et al., 1991, Shelobolina et al., 2004, Wolicka, Borkowski, 2007, Zachara et al., 2004]. Анаэробная деградация углеводов наблюдалась в условиях метаногенеза [Aitken et al., 2013, Grbić-Galić, Vogel, 1987, Holowenko et al., 2001], сульфатредукции [Acosta-González et al., 2013, Aitken et al., 2013, Beller et al., 1992, Callaghan et al., 2006, 2009, Edwards, Grbić-Galić, 1992, Edwards et al., 1992, Khelifi et al., 2010, Kniemeyer et al., 2003, Kropp et al., 2000, So et al., 2003, Wolicka, Borkowski, 2007], железоредукции [Caldwell et al., 1999, Holmes et al., 2011, Lovley, Lonergan, 1990, Lovley et al., 1989, Shelobolina et al., 2004, Zachara et al., 2004], нитратредукции [Bradley et al., 2001, Callaghan et al., 2009, Hutchins et al., 1991, Krieger et al., 1999, Mechichi et al., 2002, Rabus et al., 2001, Rontani et al., 2002]. Другими конечными акцепторами электронов в процессах анаэробной деградации углеводов могут быть оксиды марганца [Lagenhoff et al., 1996, 1997], гуминовые кислоты почв и грунтов и их модельный аналог антрахинон-2,6-дисульфонат [Cervantes et al., 2001], фумаровая кислота [Meckenstock, 1999].

Углеводы представляют собой органические молекулы с высокой степенью восстановленности атомов углерода. При трансформации углеводов микроорганизмами в промежуточные продукты метаболизма, образующиеся восстановительные эквиваленты (электроны, водород) должны быть перенесены на акцептор с более положительным окислительно-восстановительным потенциалом, чтобы выделившаяся энергия могла быть использована микроорганизмами для роста. В аэробных условиях в роли такого конечного акцептора электронов выступает кислород воздуха (в водных средах –

растворенный в воде). Для неорганических соединений четко соблюдается термодинамическая последовательность окислительно-восстановительных потенциалов как предпочитаемых акцепторов – наименее выгодные термодинамически акцепторы используются в последнюю очередь. Последовательность использования микроорганизмами акцепторов электронов следующая: восстановление нитратов, восстановление железа, восстановление соединений серы, метаногенез [Заварзин, Колотилова, 2001].

Скорость деградации углеводов зависит от используемого микроорганизмами конечного акцептора электронов – в условиях нитратредукции она выше, чем в условиях сульфатредукции [Hutchins et al., 1991], а в условиях сульфатредукции выше, чем при метаногенезе [Smolenski, Suflita, 1987].

Подземные воды представляют прекрасные условия для существования микроорганизмов, которые способны трансформировать не только природные органические компоненты, но и большое количество ксенобиотиков [Kaiser, Bollag, 1990, Ghiorse, Wilson, 1988]. Считается, что загрязненные подземные воды содержат акклиматизировавшиеся микробные популяции, способные к трансформации загрязняющих веществ при существующих окислительно-восстановительных условиях. Полевые исследования показали, что процесс биodeградации поллютантов в водоносных горизонтах контролируется в основном геохимическими и гидрогеологическими факторами среды [Kaiser, Bollag, 1990]. С увеличением глубины залегания подземных вод наблюдается уменьшение общего количества аэробных углеводородокисляющих микроорганизмов и снижение их разнообразия [Бердичевская, 1983]. Существующее ограничение транспорта кислорода путем диффузионного процесса может замедлить аэробную деградацию загрязняющих веществ, и тогда их дальнейшая судьба будет определяться анаэробными процессами [Kaiser, Bollag, 1990, Lovley, 1997; Lovley, 2001]. Существенным фактором является наличие акцепторов электронов (агентов окисления) в достаточном количестве [Caldwell et al., 1999, Criddle et al., 1986, Edwards, Grbić-Galić, 1992, Elmen et al., 1997, Kleikemper et al., 2002a, Lovley, 1997, Robertson et al., 2001]. Добавление в

загрязненные водоносные горизонты альтернативных, более энергетически выгодных для микроорганизмов акцепторов электронов вызывает «переключение» микробного сообщества на их использование для деградации углеводов [Vroblesky, Chapelle, 1994]. В отдельных случаях скорость биodeградации поллютантов за счет использования альтернативных акцепторов электронов (нитрат-ионов, сульфат-ионов, гидрокарбонат-ионов) может быть выше скорости аэробной деградации [Elmen et al., 1997, Edwards, Grbić-Galić, 1992, Holliger et al., 1997, Lovley, 1997]. Более подробные списки веществ углеводородной природы, подвергшихся анаэробной деградации микроорганизмами подземных вод представлены в [Kaiser, Bollag, 1990, Ghiorse, Wilson, 1988]. Бактериальные сообщества более глубоких водоносных горизонтов также способны к окислению углеводов как в аэробных условиях [Тронова, 1974, Shi et al., 2001], так и условиях железоредукции [Tor, Lovley, 2001] и сульфатредукции [Kleikemper et al., 2002б]. Однако, борьба с нефтяным загрязнением подземных вод требует особых приемов и технологий, учитывающих особенности гидродинамического режима подземных вод, литологический состав вмещающих пород и характер перераспределения нефти в системе «вода–порода» [Максимович, Хайрулина, 2011].

Таким образом, существуют теоретические предпосылки для использования как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов для формирования состава жидкой компоненты грунтов водоносных горизонтов, а именно, очистки приповерхностной гидросферы от углеводородного загрязнения.

3.1.2. Формирование состава подземных вод, загрязненных углеводородами

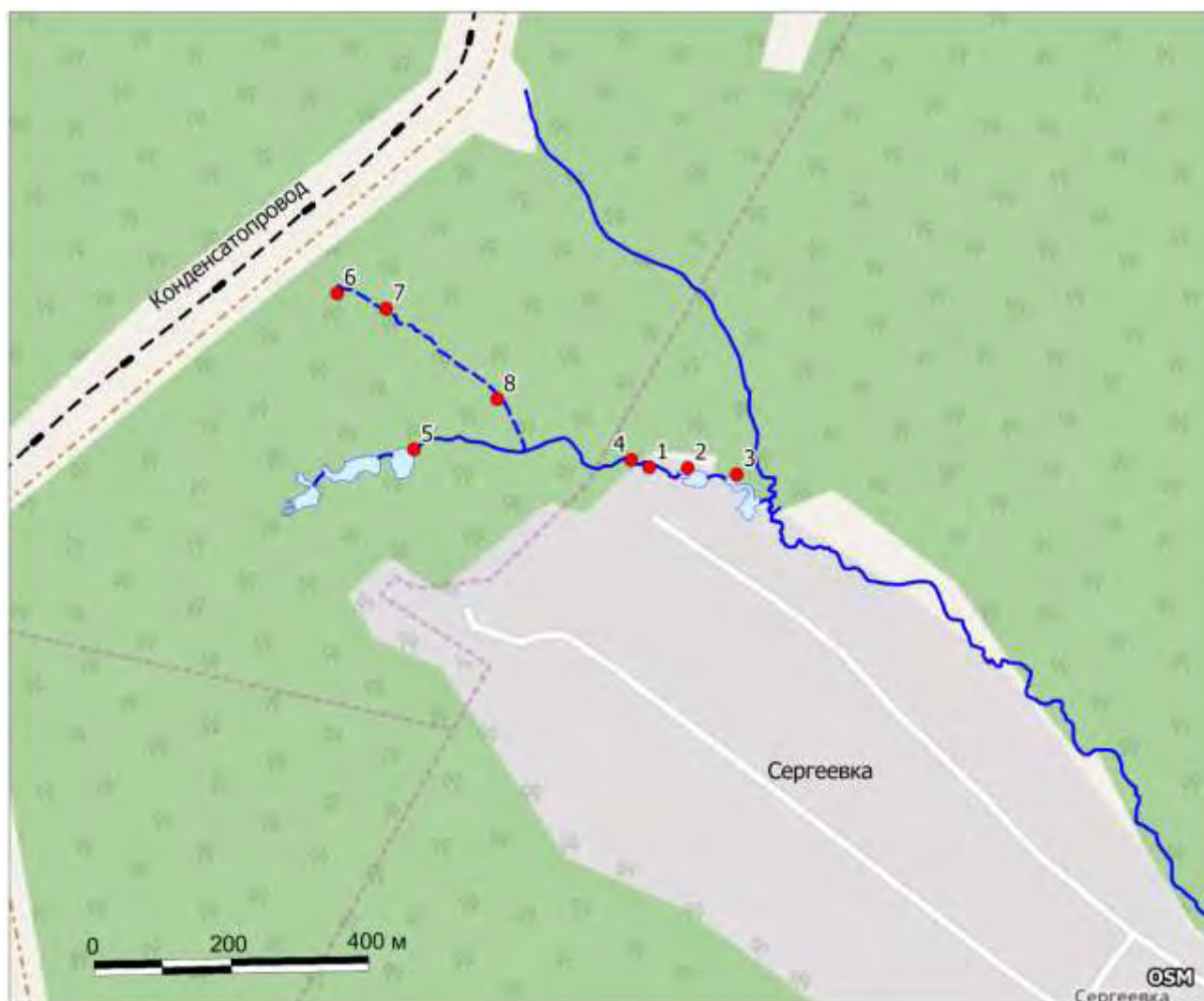
В результате криминальной врезки в конденсатопровод произошла его разгерметизация, что привело к загрязнению территории газоконденсатом. При движении потока газоконденсата им пропитался грунт, и за счет инфильтрации

сформировался очаг загрязнения в подземном пространстве непосредственно в районе аварии. Часть загрязнителей распространились в овраг, направленный в сторону населенного пункта. Подземные воды, фильтрующиеся через очаг загрязнения, насыщались газоконденсатом и при разгрузке в виде локальных родников загрязняли грунт ниже по течению. Целью работы являлась разработка рекомендаций по восстановлению приповерхностной гидросферы в районе разгерметизации трубопровода преимущественно биотехнологическим методом очистки подземных вод с использованием по желанию заказчика работ анаэробных аборигенных микроорганизмов-деструкторов газового конденсата. С точки зрения эффективности деструкции углеводородных загрязнений целесообразно было использовать аборигенные микроорганизмы, т.к. они уже приспособлены к существующей среде. Для этого необходимо оценить их потенциальную возможность очистки приповерхностной гидросферы, выбрать наиболее эффективные группы микроорганизмов, а затем культивировать их для дальнейшего использования в природной среде.

3.1.2.1. Оценка состояния грунта

Территория, загрязненная конденсатом в результате разгерметизации криминальной врезкой, находится в 0,7 км северо-западнее д. Сергеевка Уфимского района Республики Башкортостан (Приложение А и рисунок 3-1). Химический состав газоконденсата представлен в таблице 3-1.

Основной очаг поступления загрязнителей в приповерхностную гидросферу был расположен в непосредственной близости от конденсатопровода. В связи с особенностями геолого-литологического строения и рельефа территории часть загрязнителей распространились в овраг, направленный в сторону населенного пункта. Другая часть загрязнителей за счет инфильтрации попала в грунтовые



Цифрами обозначено местоположение точек наблюдения и отбора проб грунта, поверхностных и подземных вод.

Рисунок 3-1 – Схема района работ [Проект..., 2017]

Таблица 3-1 – Химический состав газоконденсата [Проект..., 2017]

Углеводород	Содержание, %
Метан	менее 0,01
Этан	менее 0,01
Пропан	0,02
<i>изо</i> -Бутан	0,11
<i>н</i> -Бутан	0,85
<i>изо</i> -Пентан	4,39
<i>н</i> -Пентан	4,84
Гексан и высшие гомологи	89,79

воды и распространилась на относительно малую территорию, то есть достаточно локализовано. Оперативные мероприятия по ликвидации загрязнения заключались в дренировании загрязненного газоконденсатом потока подрусловых вод серией поперечных дренажных канав, в установке боновых заграждений, в применении сорбентов, отстое грунтовых вод и удалении газоконденсата. В результате значительная часть конденсата была удалена.

Перепад абсолютных отметок на территории исследований составляет от 200 до 180 м. В непосредственной близости от участка разгерметизации трубопровода глубина оврага составляет 4–6 м с шириной до 2–3 м, овраг направлен в сторону д. Сергеевка. По направлению к деревне борта оврага становятся более пологими, их глубина уменьшается, а ширина увеличивается. По тальвегу оврага протекают временные водотоки, на некоторых участках происходит разгрузка подземных вод.

На северо-западной окраине д. Сергеевка поверхностные воды, представленные временными водотоками в оврагах, сливаются в общий ручей с расходом до 0,5 л/с и скоростью течения 0,07–0,1 м/с. Ниже д. Сергеевка, безымянный ручей впадает слева в р. Камышовка. Ниже по течению в месте слияния временных водотоков сооружены два искусственных водных объекта на расстоянии 8,0 м один ниже другого. Питание водоемов осуществляется за счет дождевых и талых вод, а также за счет разгрузки подземных вод.

Приповерхностный комплекс пород представлен уфимскими, эоплейстоценовыми и четвертичными отложениями. Уфимские отложения выполняют коренное ложе долины р. Камышовка и представлены песчаниками мощностью 12,4 м, занимающими верхнюю часть разреза, а также аргиллитами мощностью 17,5 м. Уфимские отложения встречены на глубине 0,3–3,2 м. Эоплейстоценовые отложения развиты на водоразделе и склонах балки р. Камышовка. Они нивелируют неровность поверхности уфимских отложений и представлены суглинками мощностью до 10,0 м. Четвертичные отложения повсеместно развиты на поверхности коренных пород и представлены овражно-балочным аллювием небольшой мощностью от 1,5 до 3,0 м [Проект..., 2017].

Подземные воды приурочены к уфимским, эоплейстоценовым и четвертичным аллювиальным породам. Воды уфимских отложений представляют собой первый от поверхности повсеместно развитый водоносный горизонт, который используется для водоснабжения. Зона аэрации сложена делювиальными глинами и суглинками мощностью до 16,4 м. В зоне насыщения преобладают трещиноватые песчаники, алевролиты. По химическому составу воды пресные с минерализацией до 1,0 г/дм³.

К овражно-балочному аллювию приурочен горизонт грунтовых вод, гидравлически тесно связанный с подземными водами уфимских отложений, подстилающих аллювиальные отложения.

В эоплейстоценовых отложениях воды развиты спорадически. Уровень подземных вод находится на глубине от 1,0 до 16,40 м. При этом в уфимских отложениях, представленных преимущественно песчаниками и аргиллитами, он установился на глубине 6,75–16,40 м от поверхности земли. В эоплейстоценовых отложениях уровень подземных вод установился на глубине 0,15–3,27 м. Уровень подземных вод подвержен сезонным колебаниям. Амплитуда сезонных колебаний может достигать 1,5–2,2 м. [Проект..., 2017].

Химический анализ подземных вод выполнен на следующие показатели: рН, гидрокарбонат- и карбонат-ионы, хлориды, сульфаты, нитриты, нитраты, аммоний, кальций, магний, железо общее, сухой остаток, натрий, калий, жесткость общая и карбонатная (расчетом), окисляемость, ХПК, нефтепродукты. Результаты исследований проб подземных вод представлены в Приложении В и таблице 3-2.

Отобраны также 3 пробы грунтов и проведен анализ их водной вытяжки по следующим показателям: рН, хлориды, карбонат- и гидрокарбонат-ионы, сульфаты, нитраты, аммоний, кальций и магний, плотный остаток. Перечень отобранных проб и их местоположение представлены в таблице 3-3. Результаты исследований грунтов представлены в Приложении Б и таблице 3-4.

По результатам исследований установлено, что подземные воды преимущественно имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав с минерализацией

Таблица 3-2 – Химический состав подземных вод

Место отбора	pH	Содержание элементов, мг/дм ³											
		HCO ₃ ⁻	CO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe _{общ}
6 – начало лога, колодец напротив емкости для сбора газоконденсата	7,4	591,00	0,00	3,02	12,00	менее 0,2	менее 0,2	177,2	15,0	менее 0,5	2,92	1,24	более 2,0
8 – скважина в районе запруды	7,2	657,00	0,00	5,00	1,23	менее 0,2	менее 0,2	177,8	19,9	менее 0,5	2,26	1,90	более 2,0
3 – скважина около пруда-2 в его замыкающей точке	7,3	699,00	0,00	7,46	9,23	менее 0,2	менее 0,2	180,0	25,6	менее 0,5	23,6	1,73	более 2,0

Продолжение таблицы 3-2

Место отбора	Минерализация, мг/дм ³	Сухой остаток, мг/дм ³	Жесткость, °Ж	ХПК, мг О/дм ³	Общая щелочность, ммоль/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³
6 –начало лога, колодец напротив емкости для сбора газоконденсата	804	659	10,2	78	9,9	0,63
8 – скважина в районе запруды	867	646	10,9	77	10,95	2,15
3 – скважина около пруда-2 в его замыкающей точке	949	722	11,5	21,7	11,65	0,04

Таблица 3-3 – Места отбора и описание проб грунта

Место отбора	Глубина отбора, м	Описание грунта
6 – в начале лога, напротив емкости для сбора газоконденсата	0,1	Глинистый грунт (почва) темно-бурый
7 – в районе заградительных секций	0,2	Грунт преобразованный с органоминеральными остатками
2 – в районе пруда-1, д. Сергеевка	0,2	Глинистый грунт текучепластичный

Таблица 3-4 – Химический состав водной вытяжки грунтов

Место отбора	рН	Содержание элементов, мг/дм ³											Плотный остаток в водной вытяжке, мг/кг
		HCO ₃ ⁻	CO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	
6 – в начале лога, напротив емкости для сбора газоконденсата	7,4	251,0	0,0	18,7	138,0	4,48	менее 0,037	207,0	17,4	14,0	31,9	6,18	870
7 – в районе заградительных секций	7,5	166,0	0,0	10,9	50,6	4,43	менее 0,037	188,0	30,7	27,0	28,3	15,0	600
2 – в районе пруда-1, д. Сергеевка	8,0	330,0	0,0	19,5	346,0	16,5	менее 0,037	249,0	28,9	20,3	13,5	9,8	1700

до 949 мг/дм³. При отборе проб воды 6 и 8 чувствовался слабый запах нефтепродуктов, радужной пленки зафиксировано не было, пробы воды были прозрачные без примесей и взвешенных частиц. Отмечено превышение ПДК по концентрации нефтепродуктов в пробах 6 (0,63 мг/дм³) и 8 (2,15 мг/дм³). В пробе воды 3, отобранной около пруда-2 в д. Сергеевка, превышений ПДК по нефтепродуктам не зафиксировано, по органолептическим признакам в пробе воды специфического запаха не отмечено, посторонних веществ не обнаружено.

По результатам анализа грунтов установлено, что их водная вытяжка характеризуется гидрокарбонатно-кальциевым составом, что вполне соответствует природным значениям. Плотный остаток в водной вытяжке составляет 600–1700 мг/кг. В грунтах наблюдаются несколько повышенные концентрации соединений азота (NH_4^+ , NO_3^-), что может быть связано с процессами отмирания и разложения вследствие токсического действия газоконденсата наземной растительности с выделением аммония и его последующим окислением до нитратов.

Максимальная концентрация нефтепродуктов в подземных водах наблюдается в районе созданной запруды, в рамках мероприятий по защите окружающей среды от загрязнения. При этом ниже по потоку движения подземных вод, около пруда-2 в д. Сергеевка, повышенных концентраций нефтепродуктов, на момент проведения исследований, зафиксировано не было. Это подтверждает эффективность выполненных природоохранных мероприятий по локализации загрязнения и недопущения его повсеместного распространения.

Источником нефтепродуктов в подземных водах, распространенных в отложениях на дне оврага, по всей вероятности, являются пропитавшиеся загрязнителем дисперсные грунты, характеризующиеся достаточно высокими показателями остаточной нефтенасыщенности. В связи с этим за счет интенсивного промывания загрязненных грунтов, особенно в период обильного выпадения осадков, снеготаяния и паводков, может наблюдаться увеличение концентраций нефтепродуктов в подземных и поверхностных водах.

В ходе проведения экспресс-анализов встреченных водопроявлений в районе исследований было установлено, что временные водотоки в районе оврага характеризуются невысокой соленостью (TDS) 168–477 ppm, температурой от 14,0 до 19,6 °С, рН изменяется в пределах 7,35–8,22, электропроводимость – 336-907 μS . Встреченные подземные воды и вода в прудах имеют схожие характеристики. Результаты экспресс-анализов представлены в таблице 3-5.

По результатам рекогносцировочного обследования отмечено, что район распространения загрязнения достаточно локализован. В результате инцидента в первый момент были загрязнены грунты в районе разгерметизации трубопровода криминальной врезкой. Постепенно при движении потоков газоконденсата по оврагу загрязнителем пропитались грунты его дна и русла. В дальнейшем за счет инфильтрации сформировался очаг загрязнения газоконденсатом в подземном пространстве непосредственно в месте инцидента. Подземные воды, фильтрующиеся в этом районе, насыщаются газоконденсатом и впоследствии разгружаются в районе оврага в виде локальных родников. Образующиеся при этом временные поверхностные водотоки дополнительно загрязняют грунты дна и русла оврага. Таким образом, приповерхностная гидросфера в районе разлива газоконденсата характеризуется локальным загрязнением. Основными источниками поступления загрязнителей в приповерхностную гидросферу являются очаг, расположенный в месте разгерметизации трубопровода криминальной врезкой, а также грунты дна и русла оврага, пропитавшиеся газоконденсатом.

Таблица 3-5 – Результаты химического экспресс-анализа водопроявлений в районе исследования

Место отбора	Объект исследования	рН	Температура, °С	Соленость, ppm	Электропроводность, μS
1 – ручей под искусственной дамбой	Поверхностные воды	7,92	17,1	298	495
4 – слияние двух оврагов, в 40 м выше от точки 1, правый приток	Поверхностные воды	8,22	15,1	477	671
4 – слияние двух оврагов, в 40 м выше от точки 1, левый приток	Поверхностные воды	8,22	16,8	223	447
5 – пруд в районе дамбы	Поверхностные воды	8,02	19,6	168	336
6 - ручей в загрязненном логу в районе емкости для сбора газоконденсата	Поверхностные воды	7,49	14,0	406	615
8 – скважина в районе запруды ниже по загрязненному логу	Подземные воды	7,35	18,7	455	907

3.1.2.2. Оценка микробной составляющей грунта

Для восстановления приповерхностной гидросферы в районе разгерметизации трубопровода-отвода криминальной врезкой предложено использование методов биотехнологической очистки компонентов окружающей среды. С точки зрения эффективности деструкции углеводородных загрязнений целесообразно использовать аборигенные микроорганизмы, так как они уже приспособлены к существующей среде. Для этого необходимо оценить их потенциальную возможность очистки приповерхностной гидросферы, выбрать наиболее эффективные группы микроорганизмов, а затем культивировать их для дальнейшего использования в природной среде.

Возможность применения аборигенных микроорганизмов для восстановления приповерхностной гидросферы после углеводородного загрязнения конденсатом газовым стабильным в смеси с нефтью (далее газоконденсат) проводили методом выделения накопительных культур [Егоров, 1995], подразумевающим создание условий, благоприятных для развития интересующей группы микроорганизмов, в данном случае по желанию заказчика – деградирующих углеводороды анаэробно.

На развитие углеводород-деградирующих микроорганизмов оказывают влияние различные факторы окружающей среды, в том числе кислотно-щелочные условия и наличие доступных для микроорганизмов источников азота и фосфора [Коронелли, 1996]. Поэтому в качестве минеральной основы для соответствующих сред использовали фосфатно-солевой буфер [Герхардт, 1983], кислотно-щелочные условия которого оптимальны для микроорганизмов, а буферные свойства позволяют поддерживать их в течение длительного времени. Кроме того, ионы фосфатов могут служить источником фосфора для микроорганизмов. В качестве источника азота в среды добавляли NH_4Cl в количестве 0,3 г/л.

Для разных групп анаэробных деструкторов углеводов в среды вносили соответствующие вещества – конечные акцепторы электронов: для нитратредукторов – 1 г/л KNO_3 , для железоредукторов – 1 г/л FeCl_3 , для сульфатредукторов – 1 г/л Na_2SO_4 . Отсутствие в среде для железоредукторов ионов Fe^{2+} было подтверждено качественной реакцией с красной кровяной солью [Кузнецов, Дубинина, 1989]. В среду для метаногенов вносили 0,1 г/л глюкозы для инициации процесса метаногенеза. В среду для сульфатредукторов после 2 недель инкубации вносили железные скрепки для снижения окислительно-восстановительного потенциала среды [Кузнецов, Дубинина, 1989].

Среды разливали в плоскодонные конические колбы объемом 250 мл по 150 мл среды в каждую и стерилизовали автоклавированием при 105 °C в течение 20 мин. После охлаждения сред в них добавляли по 20 г грунта (глинистый грунт красно-коричневый, тугопластичной консистенции, отобранный с глубины 0,5–1,0 м) в качестве инокулята и содержимое колб перемешивали. В колбы доливали соответствующие стерильные среды, чтобы уровень среды в колбах доходил до горлышка, после чего на поверхность сред вносили по 1,5 мл газоконденсата, а колбы закрывали резиновыми пробками. Инкубацию накопительных культур проводили при комнатной температуре.

Согласно методическому руководству, вывод о развитии углеводород-деградирующих бактерий необходимо подтверждать визуальными наблюдениями помутнения водной фазы, появления пигментов, образования осадка, по подкислению водной среды, по эмульгированию субстрата [Кузнецов, Дубинина, 1989]. Однако, использование достаточно большого количества тонкодисперсного грунта для инокуляции сред не позволяет достоверно различить изменение помутнения водной фазы среды или образования осадка в ходе развития микроорганизмов, а буферные свойства сред, созданных на основе фосфатно-солевого буфера, не позволяют проследить за изменением кислотно-щелочных свойств среды.

О развитии анаэробных углеводород-деградирующих микроорганизмов судили по эмульгированию углеводородной пленки на поверхности сред, а также

по появлению в средах признаков, характерных для развития соответствующих групп микроорганизмов: образованию пузырьков газа и появлению в среде ионов NO_2^- (качественная реакция с реактивом Грисса [Егоров, 1995, Кузнецов, Дубинина, 1989] – для нитратвосстанавливающих микроорганизмов; появлению в среде ионов Fe^{2+} (качественная реакция с красной кровяной солью [Кузнецов, Дубинина, 1989]) – для железовосстанавливающих бактерий; почернению железных скрепок и появлению в среде сероводорода (качественная реакция с ацетатом кадмия [Кузнецов, Дубинина, 1989]) – для сульфатвосстанавливающих бактерий; образованию пузырьков газа – для метанобразующих микроорганизмов [Егоров, 1995, Кузнецов, Дубинина, 1989].

Инкубация в течение месяца накопительных культур анаэробных микроорганизмов, деградирующих углеводороды газоконденсата, показала следующие результаты:

- нитратредукторы - наблюдалась эмульгация углеводородной пленки, под пленкой углеводородов накапливались пузырьки газа, в среде обнаруживались ионы NO_2^- ;
- железоредукторы - наблюдалась эмульгация углеводородной пленки, в среде обнаруживались ионы Fe^{2+} ;
- сульфатредукторы - наблюдались эмульгация углеводородной пленки и почернение железных скрепок, в среде обнаруживался сероводород;
- метаногены – наблюдалась эмульгация углеводородной пленки.

Проведенные исследования показали, что для восстановления приповерхностной гидросферы аборигенными микроорганизмами можно использовать любую из выделенных группу анаэробных деструкторов углеводородов.

3.1.2.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов

Выделенные накопительные культуры аборигенных анаэробных деструкторов углеводов были пересеяны на соответствующие свежие среды для проверки возможности культивирования их в лабораторных условиях. Известно, что культивированию в лабораторных условиях поддается не более 1% всех микроорганизмов, находящихся в природе [Ford, 2002]. Группы микроорганизмов, показавшие способность к культивированию, могут быть выращены в лабораторных условиях, а их биомасса отделена от среды и использована для внесения в углеводород-загрязненные среды в качестве бактериального препарата (при условии экономической целесообразности данных мероприятий). В том случае, если культуры микроорганизмов по какой-либо причине невозможно нарастить в лабораторных условиях, то эти микроорганизмы могут быть простимулированы к росту и деградации углеводов на месте загрязнения путем добавки в природную среду соответствующего конечного акцептора электронов и источников азота и фосфора для микроорганизмов.

В зарубежной научной литературе анаэробная обработка загрязненных углеводородами подземных горизонтов путем стимуляции жизнедеятельности нитрат-восстанавливающих или железовосстанавливающих микроорганизмов рассматривается как возможная стратегия для их очистки [Holliger et al., 1997].

Все выделенные накопительные культуры аборигенных анаэробных деструкторов углеводов показали способность к росту в лабораторных условиях.

По нашему мнению, более технологически и экологически приемлемым для восстановления приповерхностной гидросферы будет использование нитрат-восстанавливающих деструкторов углеводов, так как скорость деструкции углеводов нитратвосстанавливающими бактериями по литературным данным выше, чем в ходе других анаэробных процессов. В ходе восстановления нитратов не образуются токсичные вещества, а промежуточные метаболиты (ионы NO_2^-) и

избыток акцептора электронов (ионы NO_3^-) легко метаболизируются микробным сообществом. Культивирование данных микроорганизмов в лабораторных условиях возможно в менее строгих анаэробных условиях, так как они являются факультативными анаэробами, что легче осуществимо технически. Более того, возможно быстрое наращивание биомассы данных микроорганизмов в аэробных условиях на легкодоступных субстратах (например, глюкозе).

В результате проведенных исследований для заказчика работ было разработано следующее руководство по активации культуры выделенных нитратвосстанавливающих микроорганизмов, разрушающих углеводороды.

Общие требования к работе. Все работы с культурой необходимо проводить в соответствии с требованиями и указаниями практического руководства [Егоров, 1995], с которыми необходимо ознакомиться перед работой для получения общего представления. При работе с культурой необходимо соблюдать общие правила техники безопасности, а именно: не курить, не принимать пищу, не вдыхать и не глотать культуру, соблюдать правила личной гигиены. Во всех экстренных случаях принять активированный уголь в соответствии с рекомендациями производителя и обратиться к врачу.

Хранение культуры. Хранить культуру до и после использования необходимо в холодильнике при $+4-6\text{ }^\circ\text{C}$, не в морозильной камере. Срок хранения – 3 месяца, после чего следует пересеять культуру на свежую жидкую среду.

Подготовка посуды. Посуда, предназначенная для приготовления сред и культивирования микроорганизмов, не должна содержать посторонних веществ. Новую стеклянную посуду моют и погружают на ночь в 1–2% раствор соляной или серной кислоты, затем многократно промывают водой, ополаскивают дистиллированной водой и высушивают [Егоров, 1995].

Ход работ по пересеву культуры. В стеклянной колбе объемом 1 л готовится 1 л раствора следующего состава: вода дистиллированная – 1 л, NaCl (хлорид натрия) – 8,5 г, Na_2HPO_4 (гидрофосфат натрия) – 0,6 г, KH_2PO_4 (дигидрофосфат калия) – 0,3 г, NH_4Cl (хлорид аммония) – 0,3 г, KNO_3 (нитрат

калия) – 1 г. Квалификация всех реактивов не ниже «х.ч.». Реактивы растворяют последовательно в указанном порядке при перемешивании. Данный химический состав среды используется во всех дальнейших работах с культурой. Раствор разливают в 2 колбы объемом 1 л каждая по 500 мл в колбу. Колбы закрывают ватно-марлевыми пробками и стерилизуют автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. Одновременно с колбами стерилизуют стеклянные пипетки на 5 или 10 мл и резиновые пробки для этих колб. После стерилизации колбы со средами, пипетки и резиновые пробки переносят в стерильный бокс и охлаждают до комнатной температуры. Далее работы ведутся в боксе. В одну из колб около пламени горелки заливается культура в количестве 100 мл. Затем около пламени горелки в колбу до горлышка доливают стерильный раствор из второй колбы. Стерильной стеклянной пипеткой в колбу вносят 5 мл газоконденсата (т.е. 0,5% от объема среды) и закрывают колбу стерильной резиновой пробкой. Колбу выдерживают при комнатной температуре 3 недели, еженедельно стравливая возможное избыточное давление в колбе легким ослаблением пробки. В конце этого срока будет наблюдаться заметное помутнение раствора и эмульгирование нефтепродуктов. По окончании этого срока колбу с культурой убирают в холодильник на хранение. С данного момента начинается исчисление срока хранения культуры.

Использование культуры. Культура анаэробных нитратвосстанавливающих углеводород-деградирующих бактерий предназначена для очистки природных объектов, из которых она выделена, загрязненных углеводородами газоконденсата. Объем вносимой культуры должен составлять не менее 1% от объема обрабатываемого объекта. Таким образом, 200 мл культуры достаточно для обработки 20 л воды или 20 кг грунта. Для обработки природных объектов больших объемов культуру необходимо нарастить до необходимого количества.

Наращивание культуры. Нарастивание производится в несколько этапов, так как объем культуры, используемой в качестве инокулята должен составлять не менее 10% от объема засеваемой среды и, таким образом, за 1 этап возможно нарастить объем культуры лишь в 10 раз превышающий исходный объем.

Использование культуры, выращенной на первом этапе, в качестве инокулята для засева среды на 2 этапе позволяет еще в 10 раз увеличить объем получаемой культуры. То есть на каждом этапе наращивания происходит десятикратное увеличение объема культуры.

Посуда для наращивания культуры. На каждом этапе наращивания культура должна занимать не менее 85% объема сосуда, в котором она наращивается, так как мы имеем дело с факультативными анаэробными микроорганизмами. Сосуд должен иметь крышку, не обязательно закрывающуюся герметично, для ограничения доступа в сосуд воздуха.

Наращивание на первых этапах, до 10 л культуры, производится в стеклянных колбах. По подготовке посуды используется среда того же состава, что и для пересева культуры во время хранения. Выполняется тот же ход работы, что и при пересеве культуры во время хранения.

Контроль за работой культуры. Возможно проведение контроля за работой культуры как в лабораторных, так и полевых условиях. В обоих случаях отбирается соответствующая проба культуры или природного объекта, в который внесена культура, и исследуется способность микроорганизмов деградировать углеводороды. При этом могут быть использованы разнообразные методы: весовой, инфракрасной спектрометрии, хроматографический, хроматомасс-спектрометрический и т.д., – в зависимости от имеющихся возможностей и квалификации персонала.

3.1.2.4. Разработка технологии формирования состава и свойств жидкой компоненты грунта

Общий ход работ по очистке подземных вод и грунтов от загрязнения углеводородами биотехнологическим методом с помощью выделенной культуры аборигенных нитрат-восстанавливающих микроорганизмов, способных к деструкции углеводородов, состоит из следующих этапов:

- определение необходимого количества культуры для обработки объекта;
- определение количества этапов наращивания культуры до необходимого количества;
- определение сроков, необходимых для наращивания требуемого количества культуры;
- наращивание культуры микроорганизмов;
- внесение культуры микроорганизмов.

Для определения оптимальных способов внесения культуры необходимо проведение опытных работ. Количество вносимого раствора зависит от фильтрационных характеристик грунтов и может быть уточнено после проведения испытаний на опытной площадке. Наиболее благоприятным периодом обработки грунтового массива является летний сезон с положительными среднесуточными температурами воздуха.

Вносить культуры нитрат-восстанавливающих деструкторов углеводородов рекомендуется в очаги загрязнения, сформировавшиеся в подземном пространстве в районе разгерметизации трубопровода-отвода, через скважины с перфорированной обсадкой. В зависимости от фильтрационных характеристик грунтов определяется тип внесения раствора в скважины – закачкой под давлением или заливом.

Массив загрязненных грунтов в овраге может быть обработан также с использованием неглубоких скважин (до 1 м) с перфорированной обсадкой путем

внесения раствора в траншеи глубиной до 0,3 м или поливом на загрязненные участки грунтов.

Методы, использованные в настоящем исследовании, позволяют выделить из природного объекта исключительно непатогенные микроорганизмы, поэтому нет особых требований к безопасности при работе с данными микроорганизмами. Необходимо соблюдать лишь общие требования безопасности.

Получение специальной квалификации оператором, вносящим культуру, не подразумевается. Работы по засеву и внесению культуры микроорганизмов рекомендуется контролировать квалифицированным специалистом с микробиологическим образованием.

Разработанный метод подразумевает внесение аборигенной микрофлоры, что не приведет к нарушению природной среды. Проведение дополнительных рекультивационных работ после обработки массива предлагаемой культурой не требуется, образование отходов также не подразумевается.

Таким образом, для разработки рекомендаций по восстановлению приповерхностной гидросферы в районе разгерметизации трубопровода криминальной врезкой были выполнены полевые, камеральные и лабораторно-экспериментальные исследования. Этот комплекс работ позволил выявить механизм распространения загрязнения, разработать и передать заказчику образец культуры микроорганизмов для очистки компонентов окружающей среды.

Аналогичный комплекс исследований проводился нами для борьбы с загрязнением подземных вод нефтепродуктами в районе Полазненского месторождения (Пермский край). Разработка месторождения началась в 1939 г. В 1954 г. по окончании строительства Камской ГЭС территория месторождения была затоплена, и с этого времени все месторождение находится в зоне Камского водохранилища. В середине 70-х гг. прошлого века в прибрежной зоне водохранилища и на левобережной части Усть-Полазненской площади стали наблюдаться интенсивные нефтепроявления, приводящие к загрязнению

подземных и поверхностных вод. В начале 80-х гг. XX века наблюдались случаи самовозгорания углеводородных газов в зоне обнажения сульфатных пород [Оборин и соавт., 2008].

Из грунтов и подземных вод было выделено активное нефтеокисляющее сообщество микроорганизмов, состоящее из двух штаммов бактерий, которые по культурально-морфологическим и физиолого-биохимическим свойствам были отнесены к *Pseudomonas aeruginosa* и *Pseudomonas fluorescens*. Оба штамма бактерий были мезофильными, с границами хорошего роста и высокой активностью в пределах 15–35 °С при оптимуме 26±2 °С и обладали способностью к денитрификации нитрата. В лабораторных условиях методами газо-жидкостной хроматографии и ИК-спектromетрии определили нефтедеструктирующую активность консорциума по убыли индивидуальных компонентов нефти [Хмурчик, 2006, Максимович, Хмурчик, 2007].

Технологическая схема применения выделенного сообщества микроорганизмов предусматривала заливку активизированной культуры нефтеокисляющих бактерий в подземные воды через существующие скважины. При этом должно было происходить концентрирование бактерий на водно–нефтяном контакте и их последующее распространение потоком подземных вод. Кроме скважин для заливки культуры предлагалось использовать и карстовые воронки.

В испытательную скважину был внесен раствор минеральных удобрений как дополнительный источник азота и фосфора, а затем 20 л культуры нефтеокисляющих бактерий [Максимович и др., 2009].

Было разработано специальное устройство для отбора проб в горизонтах раздела сред «нефть–вода» [Максимович, Хмурчик, 2006]. Проведенные натурные исследования с использованием устройства показали результаты, близкие к лабораторным. Так после воздействия микроорганизмов содержание *n*-алканов ($\Sigma n-C_{12-34}$) в нефти снизилось в 4,2 раза по сравнению с контролем за счет деструкции, главным образом, низко- и среднемолекулярных углеводородов без всякого предпочтения между углеводородами с четным или нечетным числом

атомов углерода. При этом наблюдалось значительное изменение в соотношении между *n*-алканами и нафтеновыми углеводородами, а также *n*-алканами и изопреновыми углеводородами. Содержание *n*-алкильных структур под действием микроорганизмов снизилось примерно в 4 раза [Максимович и др., 2009].

Практическое воплощение результатов исследования было защищено патентами на изобретения (№№ 2312719 и 54398).

3.2. Жидкая компонента грунта породных отвалов горнодобывающей промышленности

3.2.1. Образование химического состава дренажных вод породных отвалов

Разработка недр предприятиями горнопромышленного комплекса связана с извлечением на поверхность земли большого количества отработанных пород, которые складываются на поверхности в виде отвалов. Объем ежегодного накопления техногенных грунтов – продуктов горнодобывающей промышленности – почти в три раза превышает объем твердого стока рек, а горнотехническая деятельность человека, включающая добычу и переработку полезных ископаемых и накопление техногенных грунтов, превосходит некоторые геологические процессы [Огородникова, Николаева, 2004]. По ресурсам угля Россия занимает одно из ведущих мест в мире. В недрах нашей страны сосредоточена треть мировых ресурсов угля и пятая часть мировых разведанных запасов угля, сосредоточенных в 22 угольных бассейнах и 129 отдельных месторождений угля [Янин, 2019]. По объемам добычи угля Россия находится в одном ряду с ведущими угледобывающими странами мира. Основными угольными бассейнами России являются: Кузнецкий, Канско-

Ачинский, Печорский и Донецкий (Восточный Донбасс). Отдельные крупные угольные месторождения находятся в Восточной Сибири, Забайкалье, Южной Якутии, на Дальнем Востоке и Сахалине. По качеству угли представлены полным диапазоном – от бурых углей до каменных и антрацитов. Наиболее ценные и высокотехнологичные запасы углей сосредоточены в угледобывающих районах Сибири. На угольных месторождениях Урала все технологичные запасы угля практически исчерпаны [Огородникова, Николаева, 2004]. При добыче каждой тысячи тонн угля шахтным способом на поверхность поступает в среднем 100–115 м³ отработанных пород [Тютюнова, 1987]. По данным на 2013 г. в отвалах горнодобывающих предприятий, расположенных на территории России, накопилось не менее 12 млрд. т вскрышных и вмещающих пород [Янин, 2019]. К районам очень высокой интенсивности накопления отходов угольной промышленности отнесены Центральный, Уральский и Западно-Сибирский регионы [Огородникова, Николаева, 2004]. В литологическом отношении отвалы представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем и другими породами, в них присутствует древесина, металлические предметы. Породы неоднородны по гранулометрическому составу и имеют размер от глинистых частиц до глыб [Максимович и соавт., 2006, Миронов, 1991]. Основными процессами, протекающими в породных отвалах и оказывающими воздействие на их минеральный и вещественный состав, являются процессы техногенного выветривания [Потапов и соавт., 2007а]. Выветривание, как правило, сопровождается увеличением объема породы, ее раздроблением, разрыхлением, увеличением удельной поверхности. Внешними и наиболее четкими признаками выветривания породы служат ее осветление, появление пятнистой окраски, бурых натеков и корочек ожелезнения на стенках трещин, натеки в пустотах, иногда присутствие гипса. Характерными процессами выветривания являются: накопление в выветривающихся породах тонкораздробленного коллоидного материала; появление новых минералов; увеличение трещиноватости и пористости пород; полное или частичное уничтожение связей, существовавших между частицами пород; гидратация, то есть связывание в продуктах

выветривания большого количества воды; накопление органического вещества в результате жизнедеятельности организмов [Чаповский, 1975]. В зоне выветривания извлеченные породы представляют собой сложную систему, состоящую из растворимых и нерастворимых продуктов. С точки зрения механизма воздействия на породы, слагающие отвалы, техногенное выветривание можно разделить на механическое и химическое. В процессе механического выветривания происходит разрушение пород, слагающих отвалы (в основном, под влиянием давления). Данный процесс приводит к трансформации вещественного состава и изменению фильтрационных свойств отвалов. Под влиянием климатических факторов происходят процессы высыхания-увлажнения отвалов. Эти процессы также сопровождаются разрушением пород за счет давления, возникающего при набухании и усадке слоистых силикатов, входящих в минеральный состав отвалов. Породы шахтных отвалов в результате процессов выветривания приобретают зональное строение, происходит увеличение плотности пород, а также снижение их проницаемости [Потапов и соавт., 2007а]. Основными агентами химического выветривания пород, слагающих отвалы, являются кислород воздуха, атмосферные осадки и грунтовые воды. Под действием этих агентов происходит ряд геохимических процессов, среди которых основным процессом, определяющим значительные масштабы трансформации отвалов, является окисление.

В отвалы угледобычи складывается изначально неоднородная по химическому и гранулометрическому составу масса, в которой преобладают обломки вмещающих глинистых и карбонатных пород. Значительную часть составляет уголь и углистые вещества, часто встречается технический мусор – предметы из черных и цветных металлов, обломки пластмассы, стекла, древесины. Таким образом, с момента формирования отвал представляет собой химически гетерогенную, но временно не активную систему [Щербакова, 2018]. Реакции окисления минералов внутри отвалов идут с выделением тепла и сопровождаются самовозгоранием отвалов, обжигом, переплавлением пород, фумарольными процессами [Максимович и соавт., 2006]. Возгорание происходит

в случаях, когда скорость образования тепла при окислении вещества превышает скорость его рассеяния. Источником тепла могут являться взаимодействия между углем и кислородом, процессы увлажнения и высыхания, скрытое тепло водяного пара. Однако, тепло, поступающее при окислении неорганической составляющей углей – пирита, может быть ключевым фактором для достижения количества тепла, необходимого для процесса самовозгорания [Янин, 2019]. Обычно самовозгорание характеризуется тлением – беспламенным горением породы при недостатке кислорода. При достаточном количестве кислорода тление может перейти в пламенное горение, которое обычно возникает в поверхностных, более интенсивно аэрируемых слоях материала. Общим результатом описанных процессов является преобразование вещественного и минерального состава извлеченных пород, которое происходит как в окислительных, так и восстановительных условиях. Следует отметить, что различные отвалы характеризуются различными масштабами протекания тех или иных процессов. Окисление пород отвалов как правило усиливается с увеличением размеров зоны аэрации внутри отвала и площади отвалов пустых пород на поверхности [Янин, 2019].

Процесс горения сопровождается выбросом газового дыма в атмосферу. Твердые частицы дыма представлены сажой, коксом, кристаллами минералов и органическими остатками. В составе газовой фазы содержится большое количество сернистого газа, сероводорода, оксидов углерода и азота. В частности, концентрация диоксида углерода может достигать 125 мг/м^3 [Максимович, Хайрулина, 2011, Потапов и соавт., 2007a]. Газы, выбрасываемые в атмосферу горящими отвалами, существенно изменяют почвенный и растительный покров, животный мир, продуктивность лесных и сельскохозяйственных угодий на значительных территориях, прилегающих к отвалам. Горение отвалов как правило продолжается несколько лет и характеризуется неравномерностью как интенсивности горения, так и химического преобразования вещества отвалов, что объясняется неравномерным распределением в отвале различных вмещающих

пород, углефицированных пород и углей, сульфидной серы и других химически активных компонентов [Янин, 2019].

Горение отвалов приводит к изменению их минерального состава. Б.В. Чесноков выделяет четыре основных типа минерализации горелых отвалов: горелых пород (I), «черных блоков» (II), фумарол (III), выветривания (IV) [Чесноков, 2005, Чесноков, Щербакова, 1991, Чесноков и соавт., 1985]. К 80-м годам XX века на горелых отвалах Европы и Северной Америки было установлено около 160 видов минералов, свыше 10 из них были найдены впервые в мире. В настоящее время на горелых отвалах Челябинского угольного бассейна известно свыше 240 минералов и соединений, не имеющих статуса минеральных видов. Четвертую часть их составляют новые минералы и соединения. Свыше половины минералов и соединений, впервые в мире установленных на горелых отвалах Челябинского угольного бассейна, до сих пор не найдены в других природных техногенных объектах [Щербакова, 2018]. На горелых отвалах Кизеловского угольного бассейна известно около 40 новых минералов, что объясняется их меньшей минералогической изученностью [Потапов и соавт., 2007б].

В процессе окисления органического вещества пород и углей образуются углекислота и органические кислоты, являющиеся кислым резервом в системе вода–порода–органическое вещество–газ и способствующие устойчивому развитию гидролиза алюмосиликатных минералов. Углекислота, получаемая в процессе окисления органических веществ, а также привнесенная инфильтрационными водами, расходуется на формирование HCO_3^- -иона в результате нейтрализации OH^- -группы, образующейся при гидролизе алюмосиликатных минералов, и на растворение карбонатов. Преобразование в водной среде алюмосиликатного минерального комплекса пород приводит к созданию щелочного резерва и переводу в раствор различных катионов. Большая часть образующихся катионов и их гидроокисей нейтрализуется HCO_3^- -ионом, углекислотой и органическими кислотами. Это приводит к формированию HCO_3^- –Ca, Ca–Mg, Mg–Ca вод [Парфенова, 2002]. Взаимодействие атмосферных осадков

с породами отвалов, содержащими пирит, ведет к развитию в теле отвалов сернокислотного процесса и формированию кислых дренажных вод аналогично процессу образования кислых шахтных вод [Кузнецов и соавт., 1962]. К факторам, благоприятствующим развитию сернокислотного процесса, относятся: 1) высокое содержание серы – кислые шахтные воды обычно не образуются при содержании серы менее 1%; 2) наличие кислорода – в условиях влажности шахты скорость реакции окисления серы пропорциональна концентрации кислорода; 3) динамика вод – в условиях стабильной водной разгрузки и хорошей проницаемости пород кислые продукты вымываются, не достигая высокой концентрации, что затрудняет образование сильнокислых шахтных вод [Liu, 2011]. Наиболее интенсивно дренажные воды образуются во время обильных дождей или весеннего снеготаяния [Баньковская, Максимович, 1989, Калаева и соавт., 2016]. Из всего многообразия минералов, содержащихся в отвалах, активной всего окислению подвергаются сульфиды и другие минералы с закисными формами атомов [Максимович, Хайрулина, 2011]. Добыча полезных ископаемых активизирует процесс, так как при этом улучшается контакт сульфидных минералов с водой и кислородом воздуха. Образующиеся дренажные воды могут иметь разную реакцию среды (от кислой до щелочной), содержать или не содержать тяжелые металлы, но они всегда содержат сульфат-ионы. Если процесс образования дренажных вод начался, и если его не остановить, то он будет продолжаться до тех пор, пока не исчерпается весь запас одного из реактантов – сульфидных минералов, воды или воздуха. Процесс может длиться столетиями после прекращения разработки полезных ископаемых [Younger, 2003].

Дренажные воды по кислотно-щелочной реакции среды и минерализации подразделяются на кислые, нейтральные и соленые. Нейтральные и соленые дренажные воды образуются при окислении пород, содержащих достаточное количество основных (т.е. щелочных) минералов, чтобы нейтрализовать кислотность. Нейтральные дренажные воды содержат повышенные концентрации тяжелых металлов, а соленые дренажные воды – сульфатов. Также

существенными компонентами соленых дренажных вод являются ионы магния и кальция. Следует отметить, что нейтральные и соленые дренажные воды могут образовываться одновременно. Результатом этого будет образование нейтральных вод с повышенным содержанием тяжелых металлов и сульфатов. При отсутствии четко установленных количественных критериев для разделения дренажных вод на типы обычно руководствуются следующими правилами:

- если pH дренажных вод ниже 6, то воды считаются кислыми; при pH выше 6 дренажные воды могут быть как нейтральными, так и солеными;
- содержание сульфатов 1000 мг/л считается пороговым значением для разделения нейтральных и соленых дренажных вод [Plumlee et al., 1999].

Образование, высвобождение, движение и изменение дренажных вод – сложные процессы, определяющиеся комбинацией физических, химических и биологических факторов. Какой тип вод (кислые, нейтральные или соленые) поступит в конечном счете в окружающую среду, зависит от характеристик их источника, путей передвижения и свойств объектов самой окружающей среды, которые варьируют в зависимости от минерального сырья, климата, используемого способа и стадии разработки шахты.

Характеристики и относительное содержание сульфидов и нейтрализующих минералов, которые играют определяющую роль в природе образующихся дренажных вод, варьируют в зависимости от минерального сырья и типа залежи, способа шахтной разработки и способа утилизации образующихся отходов. Пути и механизмы перемещения дренажных вод зависят от климатических и сезонных характеристик и гидрогеологических условий. Климатические и сезонные условия определяют, будут ли дренажные воды образовываться постоянно или периодически, будут ли они разбавленными или высококонцентрированными. Гидрогеологические условия определяют время контакта между породой и раствором. Объекты окружающей среды, получающие дренажные воды, могут также изменять их природу. Примерами таких объектов являются грунтовые воды, поверхностные воды, заболоченные почвы. Все они могут изменять

первоначальные характеристики дренажных вод в результате физического перемешивания, химических и биологических реакций.

Влияние материалов, климата, используемой технологии или стадии разработки шахт на природу дренажных вод может быть показано с помощью диаграмм Фиклина (Ficklin) или аналогичных им. Диаграммы Фиклина могут быть использованы для интерпретирования вариаций химического состава дренажных шахтных вод разных залежей [Plumlee et al., 1999]. Обычная диаграмма Фиклина представляет собой точечный график в координатах «Сумма основных металлов (цинк, медь, свинец, кадмий, кобальт, никель) – рН». Выбор данных параметров обусловлен тем, что они обладают большей диагностической ценностью при разделении разных геологических условий. Однако, вместо суммы данных металлов могут быть использованы и другие параметры, отражающие влияние сырья, климата, технологии и стадии разработки шахты.

На рисунке 3-2 представлена диаграмма Фиклина, обобщающая данные для дренажных вод широкого круга залежей полезных ископаемых в зависимости от рН среды и содержания металлов, на рисунке 3-3 – в зависимости от рН среды и содержания сульфатов.

Диаграммы Фиклина могут быть использованы для иллюстрации факторов, влияющих на состав образующихся дренажных вод: увеличение содержания в породах пирита ведет к образованию более кислых вод, увеличение содержания сульфидов металлов ведет к увеличению содержания металлов в дренажных водах, а увеличение содержания в породах карбонатных минералов ведет к образованию более щелочных вод (рисунок 3-4).

Потенциальными источниками образования кислых, нейтральных и соленых дренажных вод являются сульфидные минералы и продукты их окисления. Самый распространенный сульфидный минерал – пирит (FeS_2). Содержание пирита в породах и его гранулометрический состав – важные факторы, влияющие на образование кислых шахтных вод [Nordström, Alpers, 1999].

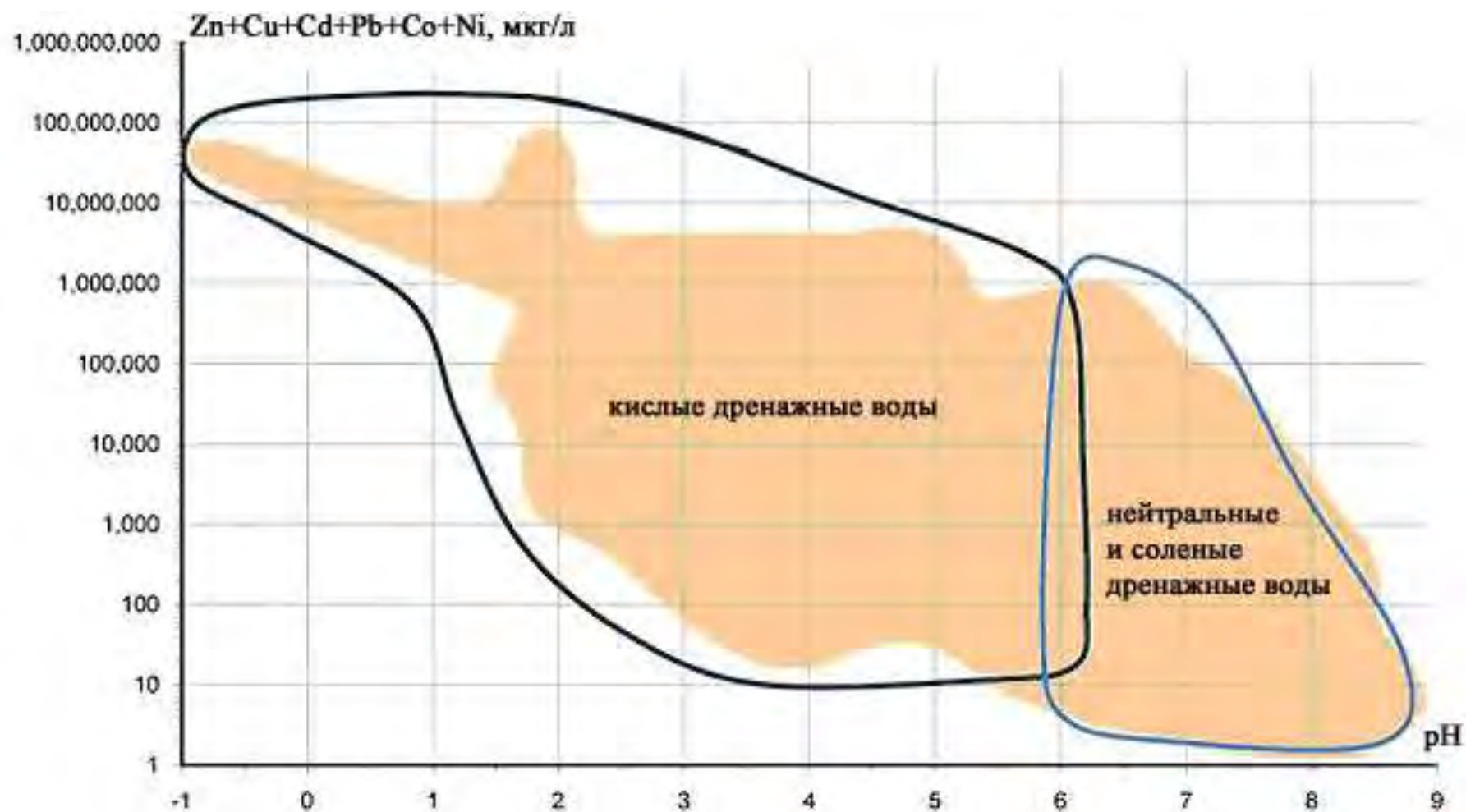


Рисунок 3-2 – Химическая характеристика типов дренажных вод в зависимости от pH и содержания металлов
[Plumlee et al., 1999]

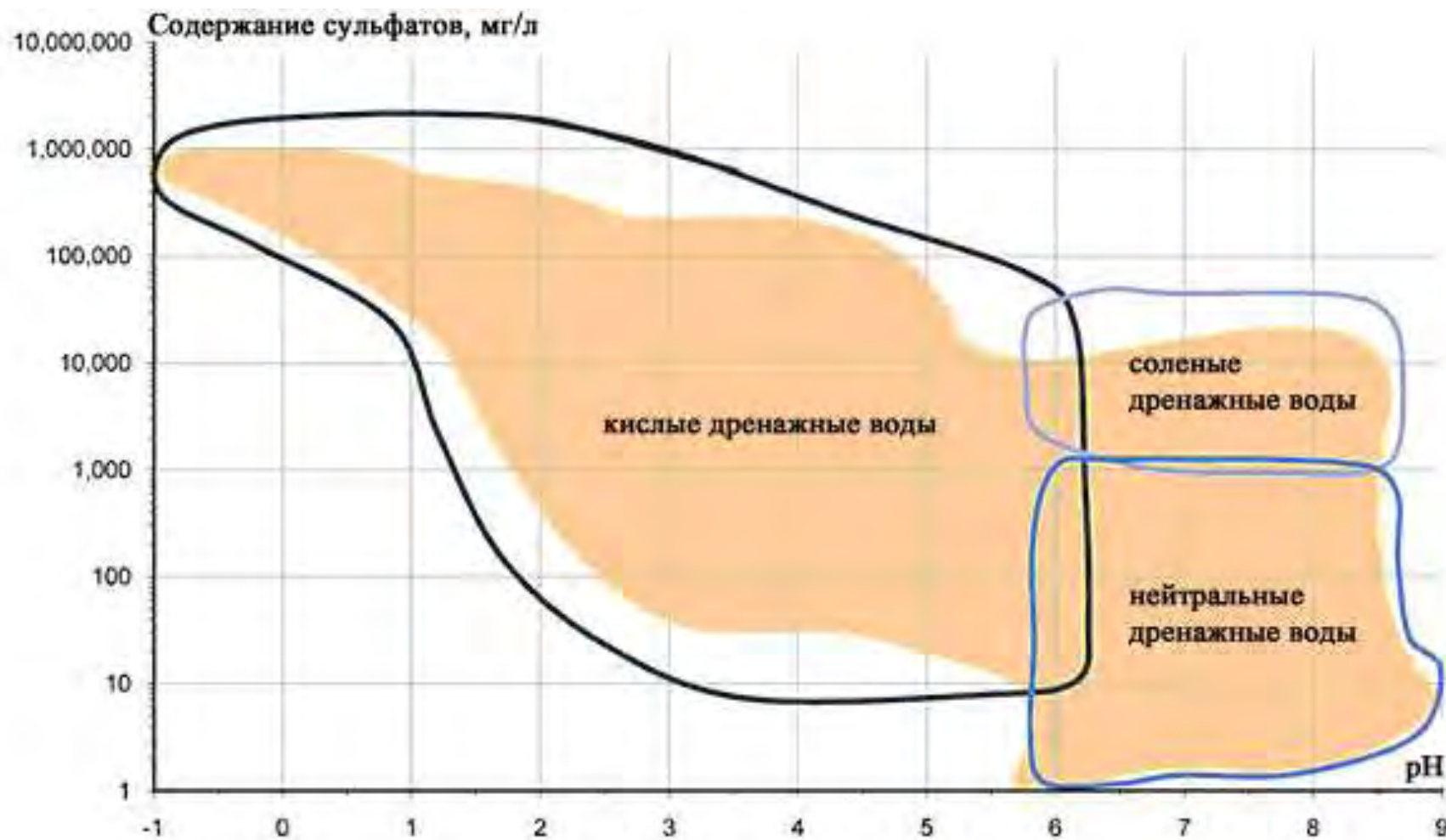


Рисунок 3-3 – Химическая характеристика типов дренажных вод в зависимости от pH и содержания сульфатов
[Plumlee et al., 1999]



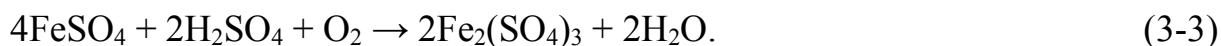
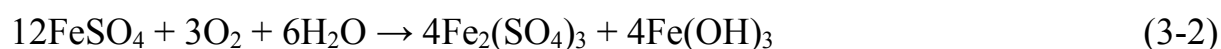
Рисунок 3-4 – Факторы, влияющие на состав дренажных вод [Plumlee et al., 1999]

Окисление сульфидов является многостадийным биохимическим процессом, которое, как правило, усиливается с увеличением размеров зоны аэрации и площади отвалов на поверхности. Выделяют три стадии окисления пирита:

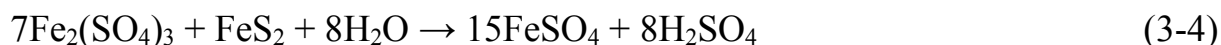
1) При развитии сернокислотного процесса окисление пирита дает серную кислоту и сульфат двухвалентного железа:



2) В окислительной среде сульфат двухвалентного железа превращается в сульфат трехвалентного железа:



3) Сульфат трехвалентного железа окисляет различные сульфиды:



а также гидролизуется до серной кислоты:



[Garrels, Thompson, 1960, Singer, Stumm, 1970, Taylor et al., 1984b].

Процесс образования кислых шахтных вод значительно ускоряется деятельностью микроорганизмов, так как многие ацидофильные (кислотолюбивые) микроорганизмы могут ускорять растворение сульфидных минералов путем окисления железа и/или восстановленных форм серы [Hudson-Edwards, Wright, 2011, Taylor et al., 1984a, Nordström, Southam, 1993]. Например, абиотическое окисление по реакции (3-1) преобладает в растворах с $\text{pH} > 4$ [Butler, 2007] и ограничивается доступностью растворенного кислорода, но усиливается бактерией *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Сульфат трехвалентного железа быстро окисляет пирит абиотически и анаэробно по реакции (3-4), которая становится преобладающей в кислых средах [Butler, 2007], однако для ее поддержания сульфат трехвалентного железа должен регенерироваться по реакции (3-3), которая ограничивает скорость реакции (3-4). В кислых условиях ($\text{pH} < 3$) реакция (3-3) обычно опосредована бактериями, и скорость бактериального процесса

окисления на несколько порядков выше процесса абиотического окисления [Schippers et al., 1996, Schippers, Sand, 1999].

Эксперименты показали, что микроорганизмы в кислых шахтных водах могут влиять на скорость окисления серы при растворении пирита, арсенопирита, халькопирита, марказита и сфалерита [Boon, Heijnen, 1993, Edwards et al., 2000], при этом окисление сульфид-ионов до сульфатов идет через ряд промежуточных серосодержащих соединений. Микробное использование сульфидов и промежуточных соединений может значительно влиять на ацидификацию (закисление) среды и скорость растворения пирита [Baker, Banfield, 2003]. Степень, до которой микроорганизмы увеличивают растворение сульфидных минералов, определяется численностью железоокисляющих клеток и уровнем их активности. Серосодержащие органические соединения в процессе биохимического окисления также дают серную кислоту. Биохимическое окисление элементарной серы, содержащейся в извлеченных угленосных породах, происходит при участии бактерий *Acidithiobacillus thiooxidans*, окисляющих в процессе жизнедеятельности атомы серы по схеме:



[Тютюнова, 1987]. Возможно также, что в некоторых трансформациях серосодержащих соединений принимает участие кислород и ОН-радикалы [Druschel et al., 2003]. В результате указанных процессов среда подкисляется серной кислотой до pH 1,5–3,5 [Максимович, Хайрулина, 2011, Потапов и соавт., 2007a]. Предполагается, что микробная активность ответственна за 75% всех образующихся кислых шахтных вод [Edwards et al., 2000].

Растворение пирита не является чисто химическим или чисто микробиологическим процессом. Это результат сложного взаимодействия процессов, зависящий от типа пород, структуры и химического состава минералов, наличия и химического состава флюидов, присутствия микробного сообщества, температуры [Edwards et al., 1999].

Механизмы, с помощью которых микроорганизмы ускоряют растворение пирита в кислой среде остаются спорными. Силверман и Эрлих (1964)

предложили два пути для окисления сульфидов металлов хемолитотрофными микроорганизмами: прямой и косвенный. Прямой путь подразумевает ферментативную атаку организмом, прикрепленным к поверхности пирита [Silverman, Ehrlich, 1964]. Однако, наличие прикрепленных микроорганизмов не является доказательством *per se* для существования прямого пути. Например, Саид и соавт. (1995) и Шипперс и соавт. (1996) предположили, что прикрепленные клетки вырабатывают экзополисахарид, который образует специфические комплексы с ионами трехвалентного железа, создавая таким образом локальную среду с пирит-окисляющим потенциалом [Said et al., 1995, Schippers et al., 1996]. Кроме того, нет доказательства существования внеклеточной ферментной системы, способной к окислению сульфида, хотя такие системы были описаны для некоторых железо- (и марганец-) окисляющих бактерии [Corstjens et al., 1992; Tebo et al., 1997]. Косвенное окисление пирита предполагает его химическое окисление ионами Fe^{3+} . В этом случае прикрепленные или планктонные микроорганизмы образуют ионы трехвалентного железа путем окисления ионов двухвалентного железа. Хотя существуют доказательства окисления как прикрепленными, так и планктонными видами микроорганизмов, кинетика и химизм растворения сульфида остаются неясными [Edwards et al., 1999].

Независимо от ферментативного или неферментативного характера реакции, микробное прикрепление к поверхности сульфида действует на его окислительное растворение. Растворение в присутствии прикрепленных организмов ведет к возникновению локального, кристаллографически контролируемого травления кристалла [Bennet, Tributsch, 1978, Konishi et al., 1990, Edwards et al., 1998], которого не возникает в присутствии исключительно планктонных хемолитотрофов [Edwards et al., 1998]. Микроорганизмы прикрепляются к сайтам с высокой поверхностной энергией, таким образом, стадия, лимитирующая скорость окисления пирита, протекает на его поверхности [Edwards et al., 1999].

Другие сульфидные минералы, обычно обнаруживаемые в залежах полезных ископаемых, перечислены в таблице 3-6. При окислении эти минералы образуют дренажные воды одного из перечисленных выше типов. Кроме того образуется комплекс вторичных минералов, включающий в себя ряд растворимых сульфатов, водных сульфатов, гидроксисульфатов, оксидов и гидроксидов металлов, глин, карбонатов и гипергенных и диагенетических сульфидов.

Хотя на сегодняшний день пирит является доминирующим сульфидным минералом, ответственным за образование кислотности, различные залежи полезных ископаемых содержат разные типы сульфидных минералов, не все из которых продуцируют кислотность при окислении.

Как правило, сульфиды железа (пирит, марказит, пирротит), сульфиды металлов с молярным соотношением металл/сера менее 1 и сульфосоли (энаргит) образуют кислоту при реакции с кислородом и водой. Сульфиды металлов с молярным соотношением металл/сера, равным 1 (сфалерит, галенит, халькопирит), не продуцируют кислоту, когда в качестве окислителя выступает кислород, но продуцируют ее, когда окислителем выступают водорастворенные ионы трехвалентного железа. Поэтому количество сульфида железа, присутствующего в залежи полезных ископаемых, играет существенную роль в определении характеристик образующихся дренажных вод. Как результат, образующиеся при окислении только сульфидов железа шахтные воды являются более кислыми, чем воды, образующиеся в результате окисления сульфидных ассоциаций, состоящих из сфалерита и галенита. Окисление сфалерита и галенита приводит к высвобождению сульфат-ионов и ионов цинка и свинца, соответственно. Если эти металлы останутся в растворе, то образуются нейтральные дренажные воды [Skousen et al., 1998].

Таблица 3-6 – Сульфидные минералы, участвующие в образовании дренажных вод при окислении [Plumlee et al., 1999]

Минералы	Химическая формула
Минералы, продуцирующие кислоту при окислении кислородом воздуха	
пирит, марказит	FeS_2
пирротит	Fe_{1-x}S
борнит	Cu_5FeS_4
арсенопирит	FeAsS
энаргит/фаматинит	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4/\text{Cu}_3\text{SbS}_4$
теннантит/тетраэдрит	$(\text{Cu,Fe,Zn})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}/(\text{Cu,Fe,Zn})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
реальгар	AsS
орпимент	As_2S_3
стибнит	Sb_2S_3
Минералы, продуцирующие кислоту при окислении ионами железа	
все вышеперечисленные, а также:	
сфалерит	ZnS
галенит	PbS
халькопирит	CuFeS_2
ковеллит	CuS
киноварь	HgS
миллерит	NiS
пентландит	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$
гринокит	CdS

Дренажные воды угольных месторождений. Месторождения угля найдены на всех континентах, большинство из них разрабатывались в прошлом или разрабатываются в настоящее время. Кислые воды могут образовываться на разрабатываемых, неактивных, заброшенных и мелиорированных угольных месторождениях. Состав кислых вод разных отложений отличается даже в пределах одного месторождения. В природных водах содержание железа, марганца и алюминия обычно не превышает 1 мг/л, что обуславливается химическими и биологическими процессами их осаждения. Эти же самые процессы удаляют железо, марганец и алюминий из кислых вод, однако нагрузка по этим металлам бывает так высока, что их вредное влияние сохраняется. Кроме того кислые воды могут содержать высокие концентрации сульфатов, кальция, калия, магния и натрия. При этом кислые воды угольных месторождений обычно содержат меньшее количество других металлов, чем оно есть в кислых водах месторождений металлов. В таблице 3-7 показано различие в химическом составе типичных кислых вод угольных месторождений и месторождений металлов.

Принципиальное отличие кислых вод месторождений металлов и кислых вод угольных месторождений обусловлено тем, что уголь – осадочная порода. Обычно породы осадочного происхождения имеют более простой минералогический состав в отличие от всех остальных пород, соответственно, химический состав кислых вод угольных месторождений также более прост. Например, из общего списка сульфидных минералов, представленных в таблице 3-6, только первый из них, пирит (FeS_2), обычно обнаруживается в осадочных породах в значительных концентрациях [Berner, 1984]. В угольных и других осадочных отложениях обнаружено нахождение нескольких типов пиритной серы, реактивность которых зависит от размеров и структуры пирита [Carrucio et al., 1988]. И хотя все типы пирита способны окисляться, некоторые из них окисляются быстрее остальных. Другими формами серы, обнаруженными в угольных отложениях, являются органическая и сульфатная сера. Органическая сера обычно является химически неактивной и не оказывает влияния на

Таблица 3-7 – Типичный химический составов кислых вод, мг/л [Skousen et al., 1998]

	Угольные месторождения		Месторождения металлов	
	Кислые воды (pH 3–4)	Нейтральные воды (pH 6,5–7,5)	Кислые воды (pH 3–4)	Нейтральные воды (pH 6,5–7,5)
Кислотность	100–10000	менее 0	100–10000	менее 0
Сульфаты	1000–10000	100–3000	1000–10000	100–3000
Железо общее	10–1000	менее 10–100	10–1000	менее 10
Алюминий	10–1000	менее 1	1–100	менее 1
Марганец	5–100	менее 30	2–25	менее 2
Медь	менее 1	Не обнаруживается	1–100	0.1–1
Цинк	менее 5	Не обнаруживается	10–1000	1–10
Кадмий	Не обнаруживается	Не обнаруживается	0,05–1	0,01–0,1
Свинец	Не обнаруживается	Не обнаруживается	0,5–10	0,01–0,1

кислотообразование [Casagrande et al., 1989]. Сульфатная сера в угольных и других пиритных породах обнаруживается обычно в относительно малых количествах и представляет собой результат выветривания и недавнего окисления сульфидной серы. Некоторые сульфатные минералы (например, мелантерит) могут растворяться с образованием кислоты, в то время как другие (например, гипс) кислоту не образуют. Наличие карбонатных минералов в угольных залежах определяет их щелочность и возможность образования кислых дренажных вод. Основными карбонатными минералами угольных залежей являются кальцит (CaCO_3), доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) и сидерит (FeCO_3). Наличие или отсутствие известковых карбонатных минералов крайне важно при формировании состава кислых вод. Эти минералы не только нейтрализуют кислоту, образующуюся при окислении пирита, но и ингибируют окисление пирита, поддерживая буферность среды на уровне, при котором железо, высвобождающееся при окислении пирита, выпадает в осадок в виде гидроксида и, таким образом, не может участвовать в дальнейшем окислении пирита. Брейди с соавторами [Brady et al., 1994] показали, что наличие 1–3% карбонатов в угленосных породах может влиять на тип образующихся дренажных вод (кислые или щелочные воды). Из всех карбонатных минералов, обычно обнаруживаемых в осадочных породах, наиболее значимым является кальцит, который играет роль цементирующего материала. Доломит образуется в карбонатных отложениях в результате замещения кальция магнием и менее растворим чем кальцит, но также нейтрализует кислотность и может ингибировать окисление пирита. Сидерит менее растворим чем доломит и является плохим нейтрализатором кислотности, так как ион двухвалентного железа, высвобождаемый при его растворении, окисляется и гидролизуются с образованием кислотности. Таким образом, щелочность, образующаяся первоначально при растворении сидерита, полностью нейтрализуется кислотностью, образующейся при последующем осаждении гидроксида железа.

Исследования Сайнц и соавт. (2002) показали, что пространственная вариабельность таких параметров отвала, как тип, количество и распределение в

теле отвала сульфидных минералов и минералов с нейтрализующими свойствами, содержание кислорода, влажность, температура, содержание микроорганизмов, приводит к формированию в нем трех зон: ненасыщенной водой зоны внешней поверхности отвала, ненасыщенной водой зоны внутренней части отвала и насыщенной водой зоны нижней части отвала. При этом все упомянутые параметры в разной степени влияют на химические реакции, протекающие в разных зонах отвала [Sáinz et al., 2002].

Структурные характеристики отвалов влияют на транспорт соединений внутри них. Поток воды внутри тела отвала описывается теоретической моделью двойной пористости, в соответствии с которой тело отвала состоит из двух зон с отличающимися характеристиками – пористого блока и каналов. Пористый блок характеризуется высокой первичной пористостью и низкой гидравлической проводимостью; среди процессов транспорта в нем превалирует молекулярная диффузия. Каналы характеризуются высокой гидравлической емкостью и низкой водоудерживающей способностью. Процессы транспорта в них определяются процессами адвекции и механической дисперсии. Таким образом, транспорт водорастворенных веществ и химические характеристики образующихся дренажных вод в системах пористого блока и каналов отличаются между собой [Sáinz et al., 2002].

Дренажные воды с угольных отвалов обычно содержат повышенные уровни цинка, никеля и других потенциально токсичных металлов. В таблицах 3-8 и 3-9 приведено разнообразие химического состава кислых вод угольных и других месторождений мира.

Таблица 3-8 – Разнообразие химического состава дренажных вод отвалов угольных месторождений

Шахтный отвал	Месторождение	Химические показатели воды, мг/л			Литература
		pH	Железо	Сульфаты	
Дренажные воды с отвалов, 1973 г.	Месторождение The Green Valley, США		56000	200000	[Melchiorre, 2011]
Дренажные воды с отвалов, 2011 г.		2,2-4,0	4400-31000	15000-95000	
Дренажные воды с отвалов	Месторождение The Friar Tuck, США	2,4-3,1	10000-36000	17000-58000	
Дренажные воды с отвала шахты Nailstone	Месторождение Лейцестершира, Великобритания	4,9	46		[Younger, 2000]
Дренажные воды с отвала шахты Dodworth	Месторождение Южного Йоркшира, Великобритания	6,5	30		
Дренажные воды с отвала шахты Bowden Close	Месторождение Западного Дарема, Великобритания	5,0	20		

Продолжение таблицы 3-8

Шахтный отвал	Месторождение	Химические показатели воды, мг/л			Литература
		pH	Железо	Сульфаты	
Дренажные воды с отвала шахты Quaking Houses	Месторождение Северно-Западного Дарема, Великобритания	4,5	10		[Younger, 2000]
Дренажные воды с отвала шахты Oatlands	Месторождение Западного Кембрия, Великобритания	4,0	85		
Дренажные воды с отвала шахты Shilbottle	Месторождение Нортумберленда, Великобритания	3,5	100		
Дренажные воды с отвала шахты Craigenbay	Месторождение Галловей, Великобритания	3,5			
Кнурув-Щегловице	Рыбницкий угольный район, Польша			4968	[Романчук, 2018]
Пшув-Анна				4151	
Дренажные воды с отвала Paint Township	Месторождение шт. Пенсильвания, США	4,7	208	1332	[Kilborn, Inc., 1996]

Таблица 3-9 – Разнообразие химического состава дренажных вод отвалов месторождений металлов

Шахтный отвал	Месторождение	Химические показатели воды, мг/л			Литература
		рН	Железо	Сульфаты	
Без названия	Месторождение золота, Россия	1,9	780	3600	[Биогеохимический..., 2017]
Отвал шахты Valdarcas	Месторождение вольфрама, Португалия	2,53	2143	5880	[Valente, Gomes, 2009]
Отвал South Pad шахты Haile Mine	Месторождение золота, США	4,9	1290	30000	[Gusek, Schneider, 2010]
Отвал Chase Hill Pad шахты Haile Mine		2,0	11000	30000	
Без названия	Месторождение цинка, США	6,3			[Dvorak et al., 1992]
Без названия	Месторождение меди INCO Copper Cliff, Канада	5,7	256		[Fyson et al., 1995]

Продолжение таблицы 3-9

Шахтный отвал	Месторождение	Химические показатели воды, мг/л			Литература
		рН	Железо	Сульфаты	
Без названия	Месторождение никеля Nickel Rime mine site, Канада	~ 5,0	900	3600	[Blowes et al., 1995]
Комплекс отвалов Duluth шахты Dunka Mine	Полиметаллическое месторождение, США	7,0	5	400	[Eger, Melchert, 1992]

3.2.2. Отвалы пород Кизеловского угольного бассейна

Кизеловский угольный бассейн находится в границах Кизеловского, Гремячинского, Чусовского, Александровского муниципальных районов и Губахинского городского округа Пермского края. Бассейн узкой полосой шириной до 25 км простирается на 150 км вдоль западного склона Урала от г. Александровска на севере до г. Лысьвы на юге. Площадь бассейна составляет около 1500 км². Добыча угля в бассейне началась в конце XVIII века и достигла максимума в 1959 г. В 1994 г. начался процесс ликвидации шахт, которые были закрыты к 2000 г.

Особенностью геологического строения Кизеловского угольного бассейна Пермского края является повышенное содержание в угленосных породах различных форм серы, которая непосредственно входит в состав углей месторождения, а также представлена в виде сульфидов металлов, преимущественно пирита [Максимович, 1997]. Среднее содержание серы в кизеловских углях по разным источникам составляет от 5,5 до 8,0% [Геология..., 1978, Горная..., 1985]. Среднее содержание в углях Кизеловского бассейна Be, Sc, Ti, V, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Y, Zr, Ag превышает среднее их содержание для углей в СНГ [Металлогения..., 1988].

На территории бассейна насчитывается более 100 отвалов и терриконов различной формы, размеров и возраста [Максимович, Хайрулина, 2011]. Их расположение в пределах КУБ представлено на рисунке 3-5. Максимально распространены плоские и конические отвалы. Площадь отвалов изменяется от 0,1 до 30 га, высота – от 2 до 64 м, объем – от 2,3 до 2829 тыс. м³ [Красавин, Сафин, 2005]. Возраст отвалов варьирует от 11 до 134 лет [Максимович, Хайрулина, 2011]. По данным МНИИЭКО ТЭК, из 486 га нарушенных земель в пределах Кизеловского угольного бассейна, 260 га занимают породные отвалы [Красавин, Сафин, 2005]. Суммарный объем отвалов в разных источниках

оценивается по-разному: от 22,5 млн. м³ [Красавин, Сафин, 2005] до 35 млн. м³ [Максимович, Хайрулина, 2011]. Породы, поступающие в отвал, образовались за счет проходки выработок (52%), их ремонта и восстановления (48%). В литологическом отношении они представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем и другими породами. В них присутствует древесина, металлические предметы. Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб [Янин, 2019]. Примерно на половине отвалов происходило горение слагающих их пород [Максимович, Хайрулина, 2011, Потапов и соавт., 2007а].

Результаты проведенных исследований показали неоднородность вещественного состава негорелых породных отвалов, которая связана с различиями в литологии угленосной толщи, технологии добычи угля и складирования отработанных пород, а также возрастом отвалов в пределах того или иного шахтного поля [Максимович, Хайрулина, 2011]. Следует отметить, что породы подвергались существенному механическому разрушению в процессе их извлечения с применением буро-взрывных работ [Разработка..., 2003]. В целом, отвалы сложены обломками песчаников (25%), алевролитов (до 40%), аргиллитов (до 20%), а также угленосных пород, представленных в основном известняками (до 25%). Весьма характерным для отвалов является равномерное расслоение обломков по крупности. Так, установлено, что основание отвалов на 65–80% сложено из частиц размером более 150 мм, в средней части преобладают частицы размером 25–100 мм, а верхняя часть отвалов представлена в основном частицами размером 6–3 мм и меньше. Вещественный состав пород в объеме отвалов также неоднороден [Крюкова, 2012]. Распределение вещественного состава пород по крупности обломков представлено в таблице 3-10. По данным, представленным в таблице 3-10, прослеживается закономерность увеличения содержания песчаников и аргиллитов и снижения содержания угленосных пород с увеличением размеров частиц, слагающих отвал.

Таблица 3-10 – Распределение вещественного состава пород по крупности частиц, составляющих отвал [Крюкова, 2012]

Класс крупности обломков, мм	Содержание, %			
	Песчаники	Алевролиты	Аргиллиты	Угленосные породы
500-300	50,3	29,8	15,0	4,9
300-150	33,2	48,4	16,3	2,1
100-50	19,5	52,5	15,6	12,2
25-13	13,6	44,5	9,2	32,0
13-6	8,8	38,8	8,0	48,5
6-3	6,6	30,9	2,6	55,9

Минеральный состав пород, слагающих негорелые отвалы, в целом отражает минеральный состав пород угленосной толщи [Разработка..., 2003]. Процесс горения приводит к значительной трансформации вещественного состава отвалов. Причиной возникновения горения на породных отвалах в большинстве случаев является самовозгорание горючих веществ, которые содержатся в отвальной массе в виде угля, сростков породы с углем, углистых сланцев, аргиллитов, древесины и различных соединений серы, в основном в виде пирита. Самовозгорание происходит обычно на глубине 0,2–3 м от поверхности отвала и носит очаговый характер, а его развитие происходит за счет последующего расширения участков горения. Температура пород в зоне горения может достигать 800–1200 °С. Относительно плотная структура вершин отвалов затрудняет воспламенение их отвальной массы и приводит к чрезвычайно медленному распространению горения: горючие вещества на вершинах таких отвалов продолжают гореть в течение многих лет после прекращения отсыпки на них пород [Сухаревский и соавт., 1970]. В результате восстановления оксидов и кристаллизации безводных соединений в условиях дефицита кислорода происходит образование пород, напоминающих базальты. В очаге горения и непосредственной близости от него происходят процессы дегидратации и перекристаллизации с выделением летучих компонентов. При этом слагающие отвал аргиллиты преобразуются в кирпично-красную породу, отличающуюся минеральным составом. Угленосные породы в составе отвала преобразуются в «черные блоки», состоящие из шунгита, графита и сульфидов. Преобразование карбонатных пород при горении заканчивается образованием портландита и вторичного кальцита [Потапов, Максимович, 2006]. Установлена прямая связь между высотой отвалов и подверженностью их горению: наибольшей подверженностью горению характеризуются действующие отвалы, имеющие высоту 40–60 м и недействующие отвалы, имеющие высоту 30–60 м [Сухаревский и соавт., 1970]. Отвальные породы угольных шахт, пыль с их поверхности, а также продукты горения являются токсичными. Их токсичность, в основном, определяется тяжелыми металлами [Зубова и соавт., 2015].

Меняется при этом и химический состав дренажных вод: в водной вытяжке грунтов горелых отвалов в 15 раз повышается содержание растворимых соединений алюминия, в 2 раза повышается содержание ионов кальция и натрия+калия, при этом в 2 раза снижается содержание ионов железа (II), и в 3 раза снижается содержание ионов железа (III) [Максимович и соавт., 2020]. Увеличение содержания алюминия, по-видимому, связано с его высвобождением из алюмосиликатов в процессе горения и образованием растворимых сульфатов (алунит $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, алуноген $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$, калиевые квасцы $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и др.). Увеличение содержания кальция, возможно, связано с обжигом известняков и образованием окиси кальция (CaO), неустойчивой к воздействию воды. Снижение концентрации железа в водных вытяжках из пород горелых отвалов, скорее всего, связано с образованием в процессе горения значительного количества гематита Fe_2O_3 – минерала, устойчивого при взаимодействии с водой [Максимович и соавт., 2020]. Пробы стоков с отвалов показывают крайнюю неравномерность их химического состава (таблица 3-11).

Воды, фильтрующиеся через толщу отвалов и стекающие по их поверхности, обогащаются растворимыми и коллоидными соединениями, переносят большое количество механических взвесей, среди которых значительную роль играют соединения серы, железа, алюминия. Подземные воды в районах породных отвалов имеют низкие значения pH, повышенную минерализацию, а также высокое содержание сульфатов, железа, алюминия, тяжелых металлов. Складирование породных отвалов и отходов переработки угля по берегам рек приводит к размыванию берегов, особенно в паводковый период, перемещению материала в русло и его дальнейшей миграции в водном потоке. Негативное воздействие стоков с отвалов проявляется в пределах бассейнов 5 крупных рек: Ю. Вильва, Яйва, Косьва, Усьва и Чусовая. По данным мониторинга состояния приповерхностной гидросферы в пределах распространения стоков с породных отвалов установлено, что основными загрязняющими веществами в составе стоков являются сульфаты, железо и алюминий. Также резко

Таблица 3-11 – Характерный химический состав стоков с отвалов шахт Кизеловского угольного бассейна, мг/л

[Максимович и соавт., 2020]

Шахта	pH	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Минерализация
Ключевская	2,77	2065,3	117,3	160,3	60,8	497,5		-	217,0	40,0	3157,9
Центральная, конусный отвал	2,35	9905,6	17,7	248,5	253,3	-	-	-	0,0	874,9	11280,0
им. Серова	1,79	29971,2	106,4	200,4	151,9	4203,5		-	302,0	7348,0	42283,4
Таежная	2,75	3430,8	35,4	300,6	91,1	175,3	353,1	10	0,0	237,3	4635,6
Гремячинская	2,44	2039,9	46,1	300,6	60,7	0,0	200,4	1,2	0,0	209,4	2862,1
Усьва-3	3,62	57,64	25,5	14,03	3,6	-	15,1	0,0	0,6	0,2	117,1
им. 40 лет Октября	2,20	9968,3	140,3	460,9	182,9	364,2	575,8	32	27,9	1870,9	13600,5
Шумихинская	1,99	26427	69,4	340,6	279,5	2091	615,2	5,6	1745,3	3351,0	34935,5
Нагорная	2,70	12981,7	93,6	460,9	413,1	959,8	12,6	12,6	97,7	363,0	16720,1
Центральная, плоский отвал	2,87	2781,9	99,2	140,2	85,0	234,9	5,1	5,1	0,0	96,3	3711,4
Широковская	2,90	500,9	35,4	95,1	15,1	30,3	2,8	2,8	0,0	30,7	721,3
Коспашская	2,39	5099,9	53,8	260,5	72,9	399,5	5,0	5,0	363,3	586,4	7047,7

«-» – Не делали.

увеличивается минерализация. Среднее значение содержания сульфат-ионов в стоках по результатам мониторинга [База данных..., 2018] составляет 4985 мг/дм³ при максимальном значении 128882 мг/дм³ (превышение ПДК в 258 раз). Среднее значение содержания ионов железа в стоках составляет 585 мг/дм³ при максимальном значении 2796 мг/дм³ (превышение ПДК в 9320 раз). Среднее значение содержания ионов алюминия в стоках составляет 492 мг/дм³ при максимальном значении 3550 мг/дм³ (превышение ПДК в 7100 раз). Также отмечено высокое содержание ионов некоторых металлов: кобальта (до 51 ПДК), лития (до 3772 ПДК), марганца (до 884 ПДК) и никеля (до 92 ПДК) [База данных..., 2018].

На рисунках 3-6–3-9 представлена динамика изменения концентрации загрязняющих веществ в стоках с некоторых отвалов в период с 2007 по 2013 год, полученная на основе данных мониторинга химического анализа стоков [База данных..., 2018]).

По данным, представленным на рисунках, можно отметить большую амплитуду значений концентрации сульфатов, железа и алюминия. Реакция среды при этом практически не меняется. Масштабы загрязнения тесно связаны с климатическим и гидрологическим режимами территории. Сток с отвалов имеет периодический характер, наиболее интенсивно этот процесс происходит в период снеготаяния. Летом и осенью поверхностный сток с отвалов наблюдается эпизодически в случае выпадения значительного количества осадков, а зимой полностью отсутствует.

В рамках мониторинга состояния окружающей среды в пределах Кизеловского бассейна проводится также подсчет количества загрязняющих веществ, попадающих в реки со стоками с отвалов (таблица 3-12) [О состоянии..., 2018].

В связи со значительными масштабами загрязнения окружающей среды кислыми шахтными и дренажными водами ведутся разработки методов по его снижению, при этом обычно не производят разделения источников загрязнения на стоки с отвалов и шахтные воды вследствие тождественности химических и биохимических реакций, определяющих их формирование. Нейтрализация

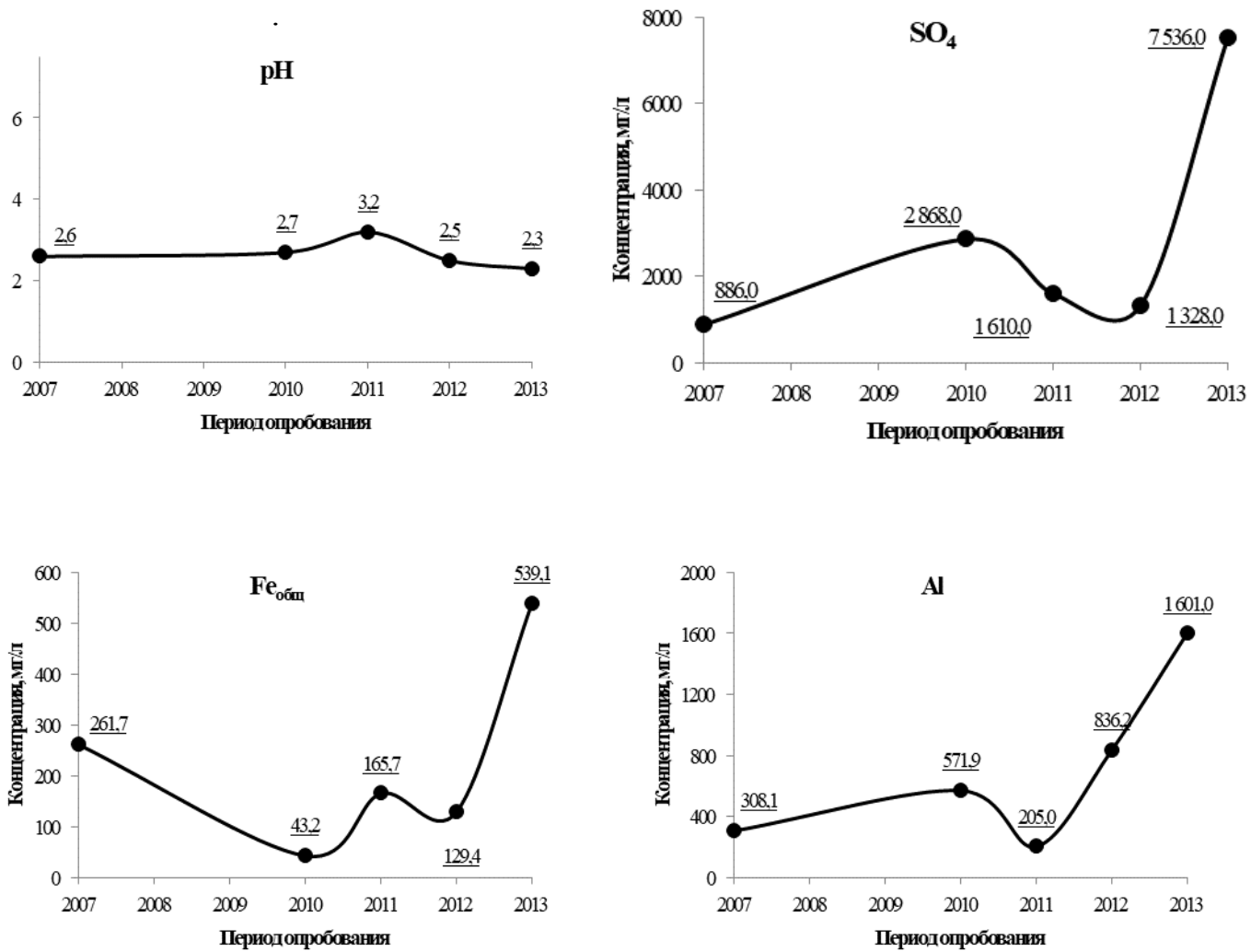


Рисунок 3-6 – Изменение pH и концентрации загрязняющих веществ в дренажных водах с породного отвала шахты Рудничная

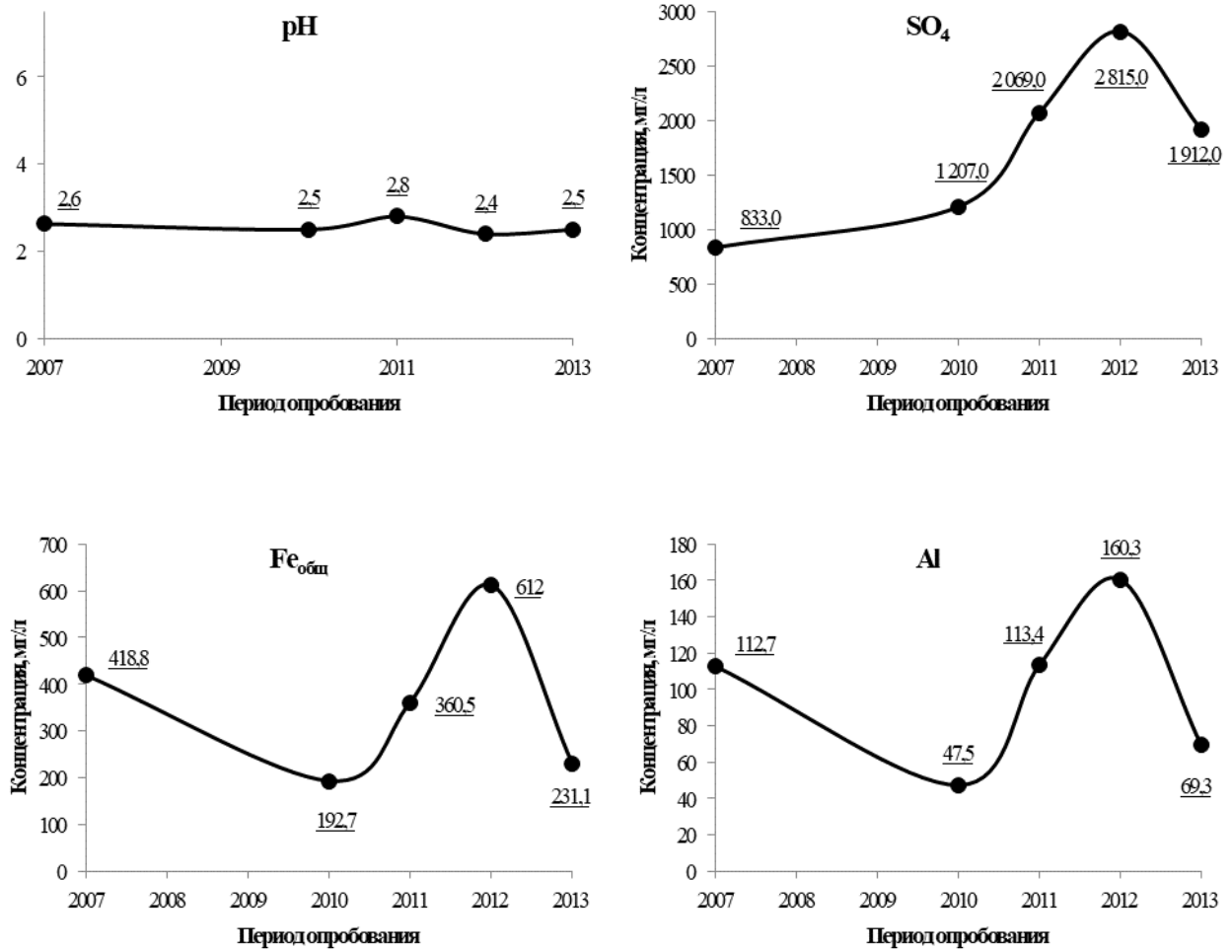


Рисунок 3-7 – Изменение pH и концентрации загрязняющих веществ в дренажных водах с породного отвала шахты им. Крупской

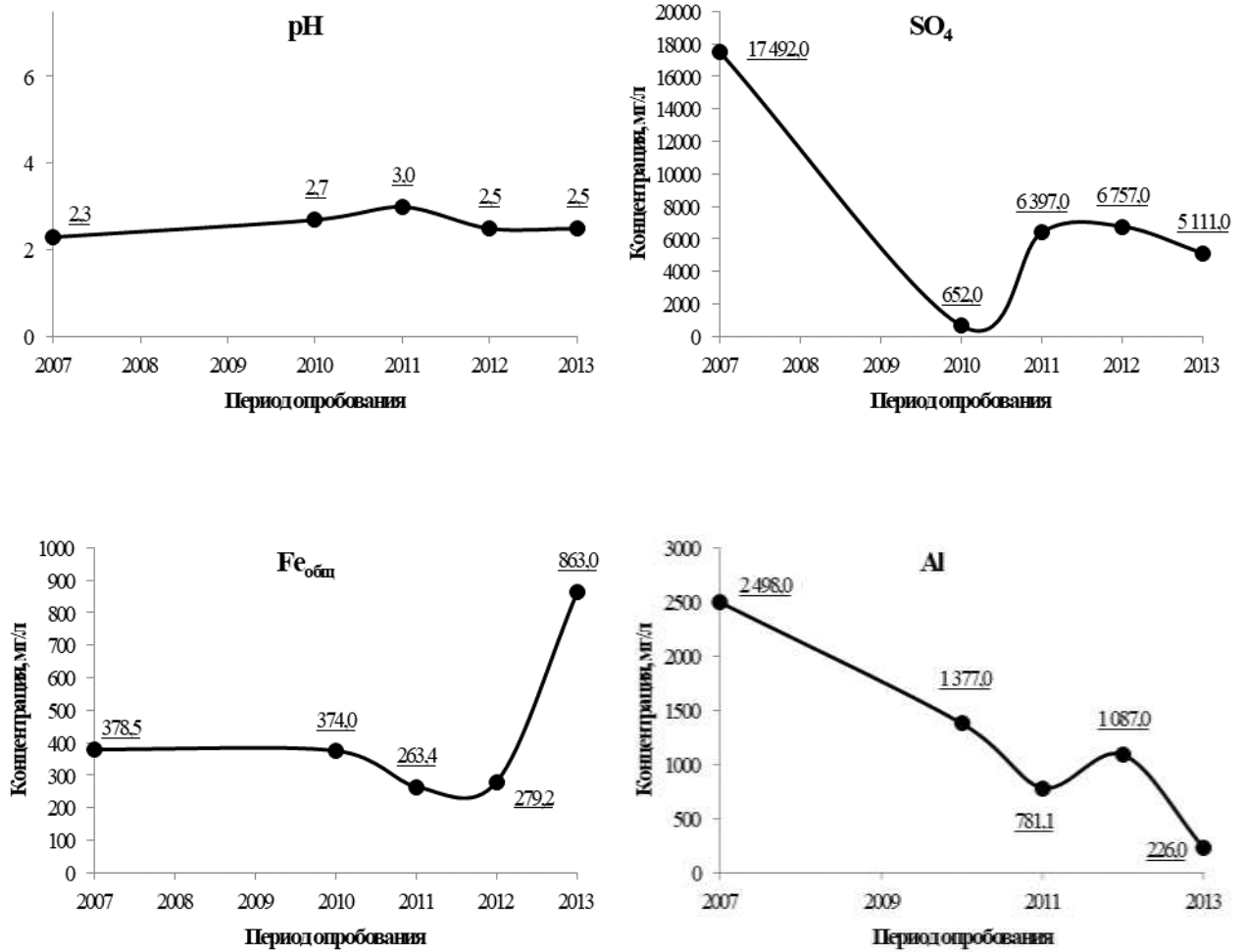


Рисунок 3-8 – Изменение pH и концентрации загрязняющих веществ в дренажных водах с породного отвала шахты Шумихинская

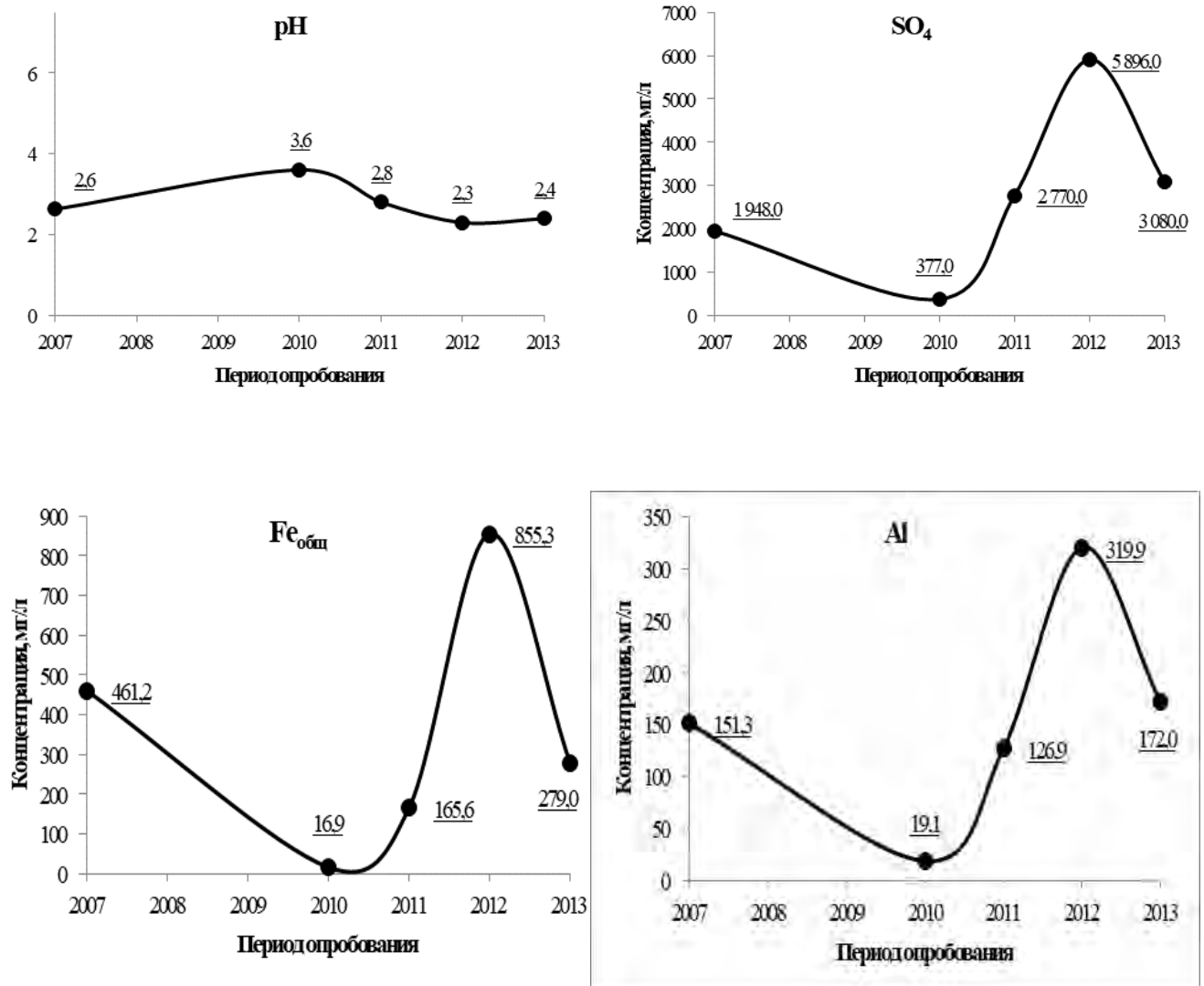


Рисунок 3-9 – Изменение pH и концентрации загрязняющих веществ в дренажных водах с породного отвала шахты Скальная

Таблица 3-12 – Количество поступающих в гидросеть загрязняющих веществ в пределах Кизеловского угольного бассейна в 2016 г. [О состоянии..., 2018]

Наименование загрязняющего вещества	Количество вещества, поступающего в гидросеть с шахтными водами, т/год	Количество вещества, поступающего в гидросеть со стоками с отвалов, т/год
Сухой остаток	79187	1799,18
Сульфаты	44888	1229,81
Железо общее	15896	113,04
Алюминий	535	79,10
Литий	6	1,28
Марганец	172	3,45

кислых шахтных и дренажных вод является одной из важных природоохранных задач [Долина, 2000, Красавин, Сафин, 2005, Максимович, 2005, 2006, 2011, Максимович, Хайрулина, 2011, Hedin et al., 1994, Gibert et al., 2004, Johnson, Hallberg, 2005, Luptakova et al., 2012, Maksimovich et al., 2020, Rose, 2010, Skousen et al., 2017, Ziemkiewicz et al., 2003, Younger et al., 2002, 2003, Zhuang et al., 2008], уделяется внимание и снижению содержания сульфатов в водах, поступающих в речную сеть [Durham et al., 2001, Lindsay et al., 2011, Silva et al., 2012, Treatment..., 2003, Van Houlen, 1994], при этом основные мероприятия по нейтрализации и обессульфачиванию кислых вод опираются на использование физических и химических методов их обработки, а использование с этой целью микроорганизмов осуществляется опосредованно при создании биогеохимических барьеров, где основную роль играют физические и химические процессы, или непосредственно в биореакторах, как в случаях для удаления сульфатов. При этом удаление сульфатов из кислых вод может происходить не только в результате бактериального процесса сульфатредукции, но и в результате выпадения из раствора гипса. Примеры реализации природоохранных мероприятий с использованием биогеохимических барьеров и биореакторов приведены в таблице 3-13.

Породы в действующих и недействующих отвалах угольных шахт и обогатительных фабрик непрерывно подвергаются воздействию приземного слоя воздуха, в результате чего физико-химические свойства отвальных пород претерпевают изменения. Таким образом, на породных отвалах могут возникать условия для их периодических деформаций, среди которых наибольшую опасность представляют оползни и обвалы пород [Сухаревский и соавт., 1970]. Согласно Л.Г. Зубовой и соавт. (2015), вопросам деформации породных отвалов угольных шахт за последние два десятилетия уделялось незначительное внимание, объясняемое спадом производства в угольной промышленности и ужесточением требований к отсыпке новых крупных

Таблица 3-13 – Результаты применения биогеохимических барьеров и биореакторов для нейтрализации и обессульфачивания шахтных и дренажных вод

Объект	Месторождение	Вид очистного устройства	Химические показатели воды до очистки, мг/л			Химические показатели воды после очистки, мг/л			Литература
			pH	Fe	Другое	pH	Fe	Другое	
Излив шахты K2	Месторождение шт. Пенсильвания, США	Аэробный ветланд	4,64	98,3	Al – 0,8, Сульфаты - 594	4,9	6,7	Al – 0,42, Сульфаты - 462	[Dietz et al., 1994]
Излив шахты K3		Аэробный ветланд	5,2	41	Al – 2,4, Сульфаты - 1388	4,41	2,7	Al – 3,4, Сульфаты - 1202	
Излив шахты CUC 3		Аэробный ветланд	3,12	10,6	Al – 4,2, Сульфаты - 332	4,01	5,5	Al – 3, Сульфаты - 313	
Излив шахты Clarion County	Месторождение шт. Пенсильвания, США	Аэробный ветланд	5,7	180	Щелочность ^a – 28, Сульфаты – 970	6,9	8	Щелочность ^a – 145, Сульфаты – 580	[Kepler., 1990]

Продолжение таблицы 3-13

Объект	Месторождение	Вид очистного устройства	Химические показатели воды до очистки, мг/л			Химические показатели воды после очистки, мг/л			Литература
			pH	Fe	Другое	pH	Fe	Другое	
Излив шахты Keister 1	Месторождение шт. Западная Вирджиния, США	Анаэробный ветланд	3,1	23	Al – 27, Сульфаты - 673	5,4	9	Al – 13, Сульфаты - 466	[Faulkner, Skousen, 1994]
Излив шахты Keister 3/2		Анаэробный ветланд	4,0	11	Al – 10, Сульфаты - 356	4,8	3	Al – 8, Сульфаты - 347	
Излив шахты Z & F		Анаэробный ветланд	2,5	376	Al – 206, Сульфаты - 2821	3,5	86	Al – 76, Сульфаты - 1662	
Излив шахты The Simco	Месторождение шт. Огайо, США	Анаэробный ветланд	6,5	111	Щелочность ^a – 87, Сульфаты - 1146	6,5	42	Щелочность ^a – 26, Сульфаты - 1067	[Stark et al., 1990]

Продолжение таблицы 3-13

Объект	Месторождение	Вид очистного устройства	Химические показатели воды до очистки, мг/л			Химические показатели воды после очистки, мг/л			Литература
			pH	Fe	Другое	pH	Fe	Другое	
20 мест излива вод угольных шахт	Европа и США	Анаэробный ветланд	4,9 (3,1- 6,3) ^б	33 (0,4- 220) ^б	Сульфаты – 950 (270-1600) ^б	6,0 (3,5- 7,7) ^б	1,2 (0,05 - 7,0) ^б	Сульфаты – 740 (160-1500) ^б	[Kilborn, Inc, 1996]
Излив шахты	Полиметаллическое месторождение Idaho Springs- Central City mining district, США	Анаэробный ветланд	2,8	32	Zn – 10,6, Cu – 1,02, Сульфаты - 1750	4,6	18	Zn – 7,8, Cu – 0,44, Сульфаты - 1560	[Wildeman et al., 1990]
Излив шахты Dunka Mine	Полиметаллическое месторождение, США	Анаэробный ветланд	7,0	5	Сульфаты - 400	7,0	2	Сульфаты - 200	[Eger, Melchert, 1992]

Продолжение таблицы 3-13

Объект	Месторождение	Вид очистного устройства	Химические показатели воды до очистки, мг/л			Химические показатели воды после очистки, мг/л			Литература
			pH	Fe	Другое	pH	Fe	Другое	
Шахта без названия	Месторождение никеля Nickel Rime mine site, Канада	Подземные геохимические барьеры	5,0	900	Сульфаты – 3600, Щелочность ^a - < 30	7,1	10	Сульфаты – 5, Щелочность ^a - 1000	[Blowes et al., 1995]
Шахта Lacy-South	Месторождение шт. Индиана, США	Биореактор	2,4	373	Щелочность ^a – 0, Сульфаты - 2220	6,4	15	Щелочность ^a – 2070, Сульфаты - 704	[Reeder et al., 2010]
Шахта без названия	Месторождение Pennsylvania, США	Биореактор	2,5	160	Al – 173, Zn – 350, Сульфаты - 4000	4,8-6,8	0,13-8,99	Al – 0-1,8, Zn – 0-11,4, Сульфаты – 1682-3720	[Kuyucak, St-Germain, 1994]

Продолжение таблицы 3-13

Объект	Месторождение	Вид очистного устройства	Химические показатели воды до очистки, мг/л			Химические показатели воды после очистки, мг/л			Литература
			pH	Fe	Другое	pH	Fe	Другое	
Шахта без названия	Месторождение Experimental Mine Site, США	Биореактор	3,7	67	Al – 7,	6,9	< 0,2	Al – < 0,2,	[Dvorak et al., 1992]
					Щелочность ^a – 17,			Щелочность ^a – 632,	
					Сульфаты - 973			Сульфаты - 712	
Шахта без названия	Полиметаллическое месторождение Ruby Mining, США	Биореактор	9,1		Cd – 0,13,			Cd – < 0,01,	[Gallagher et al., 2012]
					Cu – 0,21,			Cu – < 0,01,	
					Pb – 0,31,			Pb – 0,01,	
					Zn – 24,7,			Zn – 0,5,	
					Сульфаты - 281			Сульфаты - 119	

Продолжение таблицы 3-13

Объект	Месторождение	Вид очистного устройства	Химические показатели воды до очистки, мг/л			Химические показатели воды после очистки, мг/л			Литература
			pH	Fe	Другое	pH	Fe	Другое	
Шахта без названия	Месторождение меди INCO Copper Cliff, Канада	Биореактор	5,7	256	Ni – 29,8, S - 844	6,14	22,0 8	Ni – 3,18, S – 417,4	[Fyson et al., 1995]

^a В пересчете на CaCO₃,^b Среднее значение (размах значений).

породных отвалов, а наиболее интенсивное изучение устойчивости откосов породных отвалов, а также деформаций породных отвалов приходится на 1957-1985 годы. При этом наибольшее количество работ проводилось для случая открытой разработки полезных ископаемых [Зубова и соавт., 2015].

Под деформацией отвала понимается изменение первоначальной формы контура породного отвала в результате сдвига его пород. Деформации реализуются как нестационарные случайные процессы, поскольку нарушение устойчивости обуславливается многими разнородными техническими и природными факторами, которые часто действуют одновременно. В общем виде процесс деформации развивается в три этапа:

- деформация пород (сжатие, связанное с уплотнением разрыхленной горной массы, проявляющееся в осадке пород);
- разрыв пород (возникновение трещин отрыва на верхней площадке отвала);
- проседание и смещение приоткосного массива по поверхности разрушения [Зубова и соавт., 2015].

Выделяют следующие три группы факторов, влияющие на устойчивость выработок и отвалов:

- горно-геологические (изменение уровня горизонтов подземных вод, трансформация напряженно-деформированного состояния в массивах пород, прилегающих к откосам, структуры массивов и физико-механических свойств их пород);

- климатические (выветривание пород в откосах, замерзание-оттаивание наружного слоя пород на откосах, увлажнение атмосферными осадками откосов и их оснований);

- горнотехнические (высота и форма технологических контуров откосов и отвалов, способ отвалообразования и схема отсыпки пород в отвал, характеристики фронта и темп углубления работ, статические и динамические нагрузки от горно-транспортного оборудования и отвалов пород) [Демин, 1973].

Однако, данное исследование в большей степени касается устойчивости откосов при открытых горных разработках, а устойчивость породных отвалов рассматривается как частный случай.

По мнению В.М. Сухаревского и соавт. (1970), основными причинами оползней и обвалов пород с откосов отвалов являются изменение физико-химических свойств отвальных пород под воздействием их горения, изменение физико-механических свойств отвальных пород как в приповерхностном слое, так и на разной глубине отвалов под действием климатических факторов, превышение несущей способности грунтов, служащих основанием отвалов и разработка отвалов прямым забоем от основания [Сухаревский и соавт., 1970]. На основе анализа причин, условий возникновения и характера аварий на породных отвалах разработаны мероприятия, позволяющие предупредить возникновение на отвалах оползней и обвалов пород, наиболее радикальными из которых являются тушение горящих породных отвалов, профилактика самовозгорания и разборка отвалов с утилизацией отвальных пород [Сухаревский и соавт., 1970].

Следует обратить внимание, что влияние климатических факторов на породы отвалов опосредовано жизнедеятельностью микроорганизмов, населяющих данные породы. Исследования Блодау (2006), Холберга (2009), других авторов показали, что влияние климатических факторов на устойчивость породных отвалов связано с величиной рН порового раствора, от которой зависит скорость окисления сульфидных минералов, в основном пирита. При этом критическим значением величины рН порового раствора является 4,5, когда средняя скорость окисления ионов двухвалентного железа, являющаяся суммой химического и микробиологического окисления, достигает минимального значения, в результате чего снижается скорость регенерации главного окислителя – ионов трехвалентного железа в соответствии с реакциями (3-2) и (3-3), что ограничивает протекание реакций абиотического окисления пирита (3-4) и сульфидных минералов (3-5) [Blodau, 2006, Hallberg, 2009]. При значениях рН порового раствора выше указанной величины микробиологическое окисление пирита незначительно [Blodau, 2006], и

создаются условия для связывания ионов двухвалентного железа в виде сульфида железа в результате жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов [Church et al., 2007, Fortin et al., 2002, Hallberg, 2009, Johnson, Hallberg, 2003, Küsel, 2003], что окончательно приводит к исчерпанию пула окислителя. Развитие микробиологического процесса сульфатредукции сопровождается нейтрализацией порового раствора и снижением его окислительно-восстановительного потенциала а значит, затуханию окислительного процесса [Fortin et al., 2002, Mills, 1999]. Таким образом, при pH порового раствора равном и выше 4,5 климатические факторы перестанут оказывать существенное влияние на породный отвал, и при прочих равных условиях его склон будет находиться в более устойчивом состоянии, чем при величине pH менее 4,5.

Были проведены исследования по формированию состава и свойств жидкой компоненты грунта породного отвала угледобывающей шахты, а именно, повышению величины pH порового раствора до 4,5 и содержания сульфатов в поровом растворе за счет активирования жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов грунта отвала.

3.2.3. Формирование состава жидкой компоненты грунта породных отвалов

3.2.3.1. Оценка состояния грунта

В лабораторных исследованиях использовали образцы грунта, слагающего частично горелый отвал шахты Северная, состоящего из неокатанных или слабоокатанных частиц размером менее 2 мм, полученных просеиванием через сито с соответствующим размером ячеек. Образцы грунта были отобраны летом 2017 г. с глубины 0,3–0,5 м от поверхности отвала.

Образец горелого грунта отвала имел оранжевый цвет, образец негорелого грунта – черный. Химический состав грунта горелой и негорелой частей отвала представлен в Приложении В. Минеральный состав грунта горелой и негорелой частей отвала представлен в таблице 3-14, из которой видно, что в горелом грунте в размерном классе частиц менее 2 мм отсутствуют глинистые и полевошпатные минералы, а содержание гематита в 5 раз превышает таковое для негорелого грунта. В горелом грунте в значительном количестве обнаруживается диаспор, отсутствующий в негорелом грунте. Содержание гидроксисульфатов железа (ярозит) и алюминия (алунит) примерно одинаково в обоих грунтах. Химический состав дренажных вод отвала представлен в таблице 3-15. Следует специально отметить, что данная характеристика химического состава жидкой компоненты отвала относится ко всему отвалу, то есть горелой и негорелой его частям суммарно, а также для всех размерных классов слагающих отвал пород, а не только для частиц менее 2 мм, то есть это интегральная характеристика жидкой компоненты грунта отвала.

3.2.3.2. Оценка микробной составляющей грунта

Давно установлено, что концентрация ионов водорода в среде является фактором, определяющим границы существования живой материи, влияя на рост и размножение организмов. Концентрация ионов водорода в среде воздействует на ионное состояние, а следовательно, и на доступность для организмов многих органических соединений и неорганических ионов. Большинство организмов живет при рН среды от 4 до 9, хотя наилучшим образом они развиваются при нейтральной реакции среды. Есть и кислотолюбивые (ацидофильные) организмы, в том числе микроорганизмы. Породные отвалы угольных шахт, дренажные и шахтные воды, характеризующиеся высокими концентрациями растворенных сульфатов, железа и ионов водорода, являются местами обитания таких микроорганизмов

Таблица 3-14 – Минеральный состав горелого и негорелого грунта плоского отвала шахты Северная, % [Maksimovich et al., 2020]

Грунт	Кварц	Гематит	Диаспор	Алунит	Ярозит	Каолинит	Гидрослюда (иллит)	Полевые шпаты
горелый	64,6	14,6	9,4	9,5	1,9	0	0	0
негорелый	43,6	2,8	0	7,1	3,3	14,0	21,6	7,6

Таблица 3-15 – Химический состав дренажных вод плоского отвала шахты Северная [Отчет..., 2019]

	pH	Показатели химического состава, мг/л							
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
ш. Северная	2,2	2458	20	1.1	0.02	0.002	499	39	2.5

Продолжение таблицы 3-15

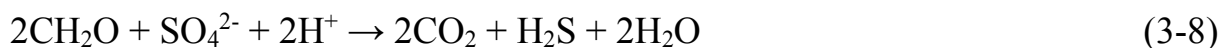
	Показатели химического состава, мг/л								
	Fe _{общ.}	Al ³⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Mn ⁴⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Cr _{общ.}	Сухой остаток
ш. Северная	320	88	0,21	0,49	3,4	0,44	1,4	0,11	4350

[Ленгуорси, 1981]. Считается, что микробные сообщества кислых сред обитания, в том числе и породных отвалов, характеризуются весьма ограниченным числом видов [Bond et al., 2000, Druschel et al., 2004], что может быть объяснено ограниченным количеством пригодных для микробного метаболизма химических реакций в этих средах [Baker, Banfield, 2003]. Согласно исследованиям Baker, Banfield (2003), Johnson (1998), Кондратьевой и соавт. (2012) и многих других, в состав микробного сообщества, населяющего породные отвалы, входят аэробные ацидофильные гетеротрофные микроорганизмы, окисляющие органические соединения; микроорганизмы, окисляющие железо, серу и восстановленные ее соединения, пирит и сульфидные минералы; микроорганизмы, восстанавливающие железо; сульфатвосстанавливающие микроорганизмы; общая численность микроорганизмов может достигать 10^9 кл/г. Структура микробного сообщества кислых сред обитания и уровень активности его членов тесно связана с геохимическими факторами, которые варьируют по сезонам года [Edwards et al., 1999]. Также отмечается изменение структуры микробных сообществ как между местами отбора проб, так и со временем отбора проб. Кроме того, структура микробного сообщества может определяться и негеохимическими факторами, определяющими концентрацию биомассы – рост грибов, выедание простейшими, – которые зависят от температуры и минерализации растворов [Druschel et al., 2004].

Исследования образовавшихся в результате добычи алюминия и в разной степени заросших наземной растительностью отвалов показали, что колонизация растениями отвалов влияла на количество и состав микробного сообщества – численность микроорганизмов была выше в заросших отвалах, в них преобладали грам-отрицательные микроорганизмы [Seifert et al., 2013]. К сожалению, про подобные исследования отвалов угольных пород нам не известно, хотя они тоже подвержены зарастанию. Численность железоокисляющих и сероокисляющих микроорганизмов в отвалах значительно уменьшается с глубиной отбора проб, соответствуя снижению содержания кислорода [Schippers et al., 1995].

Процессы жизнедеятельности вышеперечисленных групп микроорганизмов вызывают следующие изменения состава жидкой компоненты грунта отвалов (таблица 3-16).

Наибольший интерес из перечисленных групп вызывают сульфатвосстанавливающие микроорганизмы, жизнедеятельность которых оказывает больший нейтрализующий эффект на кислые дренажные воды вследствие образования не только углекислого газа, но и сероводорода. Образующийся сероводород может образовывать нерастворимые сульфиды с ионами железа и других металлов, предотвращая тем самым реакции их гидролиза и снижая общую кислотность среды:



[Jarvis et al., 2006]. Отмечена температурная зависимость скорости процесса сульфатредукции от температуры окружающей среды [Hofacker et al., 2013]. Частицы образующихся сульфидов халькофильных металлов были устойчивы к окислению в кислородной среде более месяца [Sukola et al., 2005]. Жизнедеятельность сульфатвосстанавливающих микроорганизмов приводит также к снижению содержания в среде сульфатов [Гусев, Минеева, 1992, Gibson, 1990]. Возможность биотехнологического использования сульфатвосстанавливающих микроорганизмов для удаления из загрязненных водотоков сульфатов и ионов тяжелых металлов отмечается многими исследователями [Hard et al., 1997, Johnson, Hallberg, 2002, 2005, Muyzer, Stams, 2008, Vanbroekhoven et al., 2008, Zagury et al., 2006].

Сульфатвосстанавливающие микроорганизмы обнаруживаются в разных местах обитания. К ним относят очень разнообразные прокариотические организмы, которые на основании данных анализа рРНК могут быть разделены на 4 группы: грамотрицательные мезофильные сульфатвосстанавливающие бактерии, грамположительные спорообразующие сульфатвосстанавливающие бактерии, термофильные сульфатвосстанавливающие бактерии и термофильные

Таблица 3-16. Влияние микроорганизмов грунта породного отвала на его свойства

Изменение свойств грунта			Группа микроорганизмов	Процессы в жидкой компоненте грунта
твердая компонента	жидкая компонента	газовая компонента		
Не изменяется	Увеличение pH порового раствора	Снижение газоносности, снижение газосодержания	Аэробные ацидофильные органотрофные микроорганизмы	Рост содержания гидрокарбонат-ионов. Снижение окислительно-восстановительного потенциала
Не изменяется	Снижение pH порового раствора, снижение ионной силы раствора	Снижение газоносности, снижение газосодержания	Микроорганизмы, окисляющие железо	Рост содержания ионов Fe^{2+}
Рост пористости и снижение прочности грунта	Снижение pH порового раствора, увеличение ионной силы раствора	Снижение газоносности, снижение газосодержания	Микроорганизмы, окисляющие серу и восстановленные ее соединения	Рост содержания сульфат-ионов и ионов водорода
Рост пористости и снижение прочности грунта	Снижение pH порового раствора, увеличение ионной силы раствора	Снижение газоносности, снижение газосодержания	Микроорганизмы, окисляющие пирит и сульфидные минералы	Рост содержания сульфат-ионов и ионов водорода

Продолжение таблицы 3-16

Изменение свойств грунта			Группа микроорганизмов	Процессы в жидкой компоненте грунта
твердая компонента	жидкая компонента	газовая компонента		
Рост пористости и снижение прочности грунта	Увеличение pH порового раствора, увеличение ионной силы раствора	Не изменяется	Ацидофильные железовосстанавливающие микроорганизмы	Снижение содержания ионов Fe^{2+} . Рост содержания сульфат-ионов.
Не изменяется	Увеличение pH порового раствора, снижение ионной силы раствора	Не изменяется	Сульфатовосстанавливающие микроорганизмы	Снижение содержания сульфат-ионов. Рост содержания сульфид-ионов и гидрокарбонат-ионов.

сульфатвосстанавливающие археи [Castro et al., 2000, Stahl et al., 2002]. Muyzer, Stams (2008) выделяют 7 филогенетических линий происхождения сульфатвосстанавливающих микроорганизмов – 5 линий среди *Bacteria* и 2 линии среди *Archaea*. Число органических субстратов, используемых сульфатвосстанавливающими микроорганизмами в качестве источника углерода и энергии, достаточно велико: сахара, спирты, органические кислоты, аминокислоты, некоторые ароматические соединения. Основным неорганическим источником энергии служит водород [Гусев, Минеева, 1992, Gibson, 1990, Liamleam, Annachhatre, 2007, Muyzer, Stams, 2008]. Некоторые виды в процессе сульфатредукции могут окислять угарный газ [Voordouw, 2002]. Для биосинтетических процессов используются уксусная кислота (ацетат) и углекислый газ. Некоторые виды растут на средах с органическими субстратами в отсутствие сульфатов, используя энергию процессов брожения [Гусев, Минеева, 1992, Gibson, 1990, Muyzer, Stams, 2008]. Все сульфатвосстанавливающие микроорганизмы – облигатные анаэробы, многие из них относятся к категории строгих анаэробов, для роста которых требуется не только отсутствие кислорода, но и низкий окислительно-восстановительный потенциал среды. В то же время некоторые штаммы проявляют устойчивость к кислороду и выживают при разной длительности аэрирования среды [Abdollahi, Wimpenny, 1990, Bade et al., 2000, Kjeldsen et al., 2005, Le Gall, Xavier, 1996]. Некоторые рода и виды сульфатвосстанавливающих бактерий даже способны к аэробному дыханию [Cypionka, 2000, Dilling, Cypionka, 1990]. Маршалл и соавт. (1993) показали, что скорости окисления органических и неорганических соединений сульфатвосстанавливающими микроорганизмами во время аэробного дыхания сравнимы с таковыми у аэробных микроорганизмов [Marschall et al., 1993]. Некоторые сульфатвосстанавливающие бактерии обладают способностью к восстановлению трехвалентного железа, и их активность может приводить к образованию конкреций сидерита [Coleman et al., 1993]. Сульфатвосстанавливающие микроорганизмы предпочитают среды обитания с показателем pH близким к нейтральному, но были также обнаружены в

окислительных условиях в кислой среде [Church et al., 2007, Fortin, Beveridge, 1997, Fortin et al., 1996, 2000, Koschorreck et al., 2002, Kusel, 2003, Praharaj, Fortin, 2004]. Жизнедеятельность сульфатвосстанавливающих микроорганизмов способствует снижению концентрации сульфатов в образующихся кислых водах, вызывает локальное подщелачивание среды и способствует осаждению сульфидов металлов (в основном железа) [Fortin et al., 2000]. Присутствие сульфатвосстанавливающих микроорганизмов в породах не зависело от влажности пород или содержания органического вещества, численность их не превышала 10^7 CFU/г породы [Fortin et al., 2000]. По данным Перейра и соавт. (2012) большинство микроорганизмов таких сложных систем как кислотообразующие породы представлено некультивируемыми в лабораторных условиях формами [Pereyra et al., 2012], что затрудняет определение их численности общепринятыми методами, основанными на культивировании. Отмечается также, что сульфатвосстанавливающие микроорганизмы составляют лишь малую часть сообщества и имеют широкое филогенетическое разнообразие, то есть представлены множеством видов разной степени родства, что затрудняет их подсчет при использовании методов анализа 16S рРНК с малым количеством праймеров [Pereyra et al., 2012].

Учитывая вышеизложенное, вместо определения численности сульфатвосстанавливающих бактерий в образцах горелого и негорелого грунта отвала определяли их наличие методом накопительных культур. Для этого в стерильные стеклянные флаконы объемом 120 мл помещали 20 г грунта и заливали доверху стерильной средой Баарса следующего состава (г/л): NH_4Cl – 1; KH_2PO_4 – 0,5; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 2; $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; лактат натрия (70%) – 3,5; вода водопроводная [Методы..., 1991]. Соль Мора $((\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ стерилизовали отдельно в сухом виде и помещали во флакон перед заливкой средой. При этом pH среды до рекомендуемого значения 7,0–7,4 не доводили. В качестве контроля использовали флаконы с грунтом, предварительно стерилизованным в сухожаровом шкафу в течение 2 час при 180 °С. Флаконы герметично закупоривали и инкубировали в термостате при

28 °С. После 7–10 дней инкубации верхний слой грунта в опытных флаконах приобрел черный цвет, что свидетельствовало о развитии в нем сульфатвосстанавливающих микроорганизмов [Методы..., 1991]. В контрольных флаконах никаких видимых изменений не наблюдалось.

3.2.3.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов

Результаты проведенного эксперимента показали, что грунт как горелой, так и негорелой частей отвала шахты Северная содержал жизнеспособную популяцию сульфатвосстанавливающих микроорганизмов. Результаты жизнедеятельности данной группы микроорганизмов отчетливо обнаруживались визуально, поэтому осуществлять биодополнение грунта сульфатвосстанавливающими микроорганизмами мы посчитали излишним – количество данных бактерий в образцах грунта было достаточно для осуществления видимых изменений в грунте. Более того, исследования Перейра и соавт. (2012) показали, что биодополнение накопительной культурой аборигенных сульфатвосстанавливающих микроорганизмов не приводит к увеличению скорости сульфатредукции [Pereyra et al., 2012].

При подборе состава среды для активирования жизнедеятельности микроорганизмов методом биостимуляции следует учитывать тот факт, что состав лабораторных сред, используемых для культивирования микроорганизмов, в том числе для учета их численности и постановки накопительных культур, является оптимальным для жизнедеятельности конкретной группы микроорганизмов и вряд ли будет встречен ими в природных условиях. Кроме того, использование на крупномасштабных природных объектах больших объемов растворов сложного и «экзотического» состава не является экономически оправданным. Поэтому для активирования *in situ* сульфатвосстанавливающих микроорганизмов грунта отвала был испытан раствор другого состава.

К настоящему времени большинство породных отвалов Кизеловского угольного бассейна покрылось как травянистой, так и деревянистой растительностью. Развитие растительного покрова стимулирует жизнедеятельность гетеротрофных микроорганизмов в верхней части грунта отвалов, которые получают фильтрующиеся через грунт с атмосферными осадками органические вещества от увядшей растительности и корней растений, [Hedges, Oades, 1997]. Исследования показали, что больший вклад в активизацию микробиологических процессов вносят органические вещества растительного опада, а не ризосферные процессы [Dornbush, 2007]. Глюкоза и уксусная кислота (ацетат) являются одними из основных метаболитов при развитии микробных сообществ [Заварзин, Колотилова, 2001, Chidthaisong, Conrad, 2000, McMahon, Chapelle, 2008]. Более подробно данный вопрос рассмотрен в главе 5. Какой бы сложный по составу раствор органических веществ не был бы внесен в грунт отвала для активирования жизнедеятельности микроорганизмов, использоваться в процессах микробного метаболизма будут в основном эти соединения. Именно поэтому добавление органического вещества в виде глюкозы и уксусной кислоты (ацетата), которые к тому же метаболизируются разными путями [Готтшалк, 1982], используют как инструмент для измерения размеров микробной биомассы и максимизации микробного разнообразия [Monard et al., 2008]. Есть мнение, что растворы глюкозы с концентрацией 0,9–9 г/л отражают концентрацию глюкозы в почвенном растворе в результате лизиса клеток корней растений [Jones et al., 2004, Jones, Murphy, 2007]. В исследованиях с использованием метода инициированного микробного сообщества для выяснения изменений в сообществе микроорганизмов рекомендуют использовать раствор глюкозы с концентрацией 5 г/л [Методы..., 1991]. Такая концентрация органического вещества может быть принята как максимально допустимая с экономической точки зрения для активации микробного сообщества грунта отвалов. С другой стороны, при исследованиях гетеротрофных микроорганизмов природных экосистем с низким содержанием органического вещества, например, вод и грунтов подземных горизонтов, используют среды с содержанием органического

вещества в несколько сотен мг/л [Fliermans, 1989, Dockins et al., 1980]. В связи с вышеизложенным был выбран следующий состав раствора для активации *in situ* сульфатвосстанавливающих микроорганизмов грунта отвала (г/л): глюкоза – 0,5; ацетат натрия – 0,5; вода дистиллированная.

В пластиковые (ПЭТФ) емкости объемом 0,5 дм³ поместили 100 г соответствующего грунта отвала и залили доверху раствором для активирования. Емкости закрыли пластиковыми пробками и инкубировали при комнатной температуре. После двух недель инкубации верхний слой как горелого, так и негорелого грунта приобрел черный цвет, что свидетельствовало об активизации в нем жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов.

Интересно отметить (хотя это и не входило в задачи эксперимента, в связи с чем оценка временных интервалов дана приблизительно), что примерно через полгода инкубации грунтов с активирующим раствором началось заметное уменьшение толщины слоя с черной окраской. Черная окраска полностью исчезла примерно через год после начала инкубации грунтов, причиной чего могло быть прекращение процесса сульфатредукции вследствие полного исчерпания органического вещества и постепенного окисления образовавшихся сульфидов металлов ионами трехвалентного железа в соответствии с уравнениями (3-4) и (3-5).

Таким образом, проведенные лабораторные исследования показали присутствие в грунте отвала шахты Северная как в горелой, так и негорелой его частях сульфатвосстанавливающих микроорганизмов, жизнедеятельность которых активировалась при поступлении органических веществ. В результате анализа научной литературы был подобран состав раствора для активации *in situ* сульфатвосстанавливающих микроорганизмов грунта отвала, который был опробован в ходе лабораторного эксперимента.

3.2.3.4. Разработка технологии формирования состава и свойств жидкой компоненты грунта

Разработку технологии формирования состава и свойств жидкой компоненты грунта породного отвала осуществляли с помощью метода лабораторного моделирования. Для моделирования формирования дренажных вод отвала в условиях активирования жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих микроорганизмов грунта в пластиковые (ПЭТФ) колонки диаметром 6,5 см помещали 200–300 г горелого или негорелого грунта отвала. Раз в сутки в каждую колонку добавляли 50–70 мл раствора для активации, который фильтровался через грунт под действием силы гравитации и собирался в отдельную емкость для определения объема стока и его водородного показателя. Для активирования сульфатовосстанавливающих микроорганизмов использовали раствор, содержащий 0,5 г/л глюкозы и 0,5 г/л ацетата натрия. Для обработки контрольных колонок использовали дистиллированную воду. Эксперимент продолжался 95 суток, в ходе которых было произведено 45 обработок активирующим раствором и столько же замеров pH фильтрующихся вод. Результаты эксперимента представлены на рисунках 3-10 и 3-11.

Видно, что динамика роста водородного показателя дренажных вод в горелом и негорелом грунте отвала выше при активизации в грунте жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих микроорганизмов. При этом также отмечается незначительность разницы значений водородного показателя дренажных вод на момент окончания эксперимента: 5,4 – для образца горелого грунта и 5,1 – для образца негорелого грунта отвала. Анализ содержания сульфатов в дренажных водах экспериментальных колонок показал его снижение в ходе эксперимента (таблица 3-17). По окончании эксперимента в грунте породного отвала с активированными сульфатовосстанавливающими микроорганизмами наблюдали цементацию грунта новообразованными частицами сульфидов.

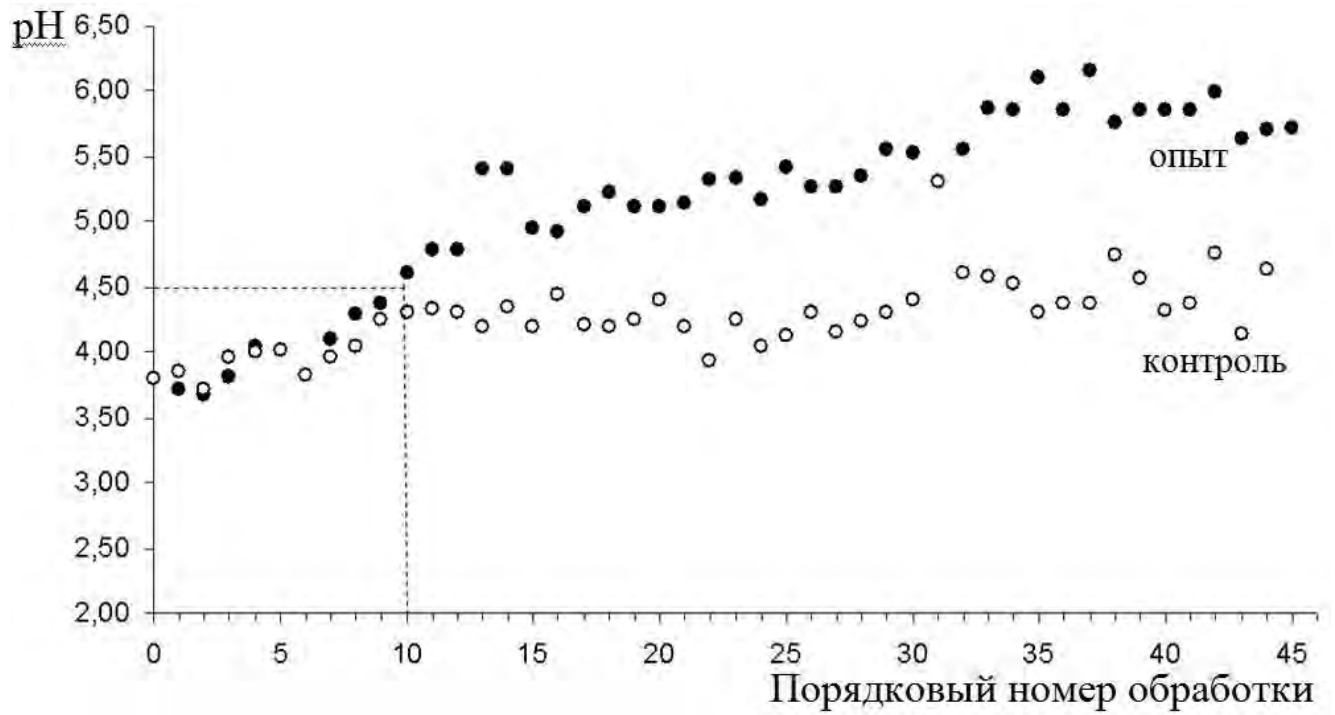


Рисунок 3-10 – Влияние длительности активирования сульфатвосстанавливающих микроорганизмов на изменение pH порового раствора горелого грунта отвала шахты Северная [Maksimovich et al., 2020]

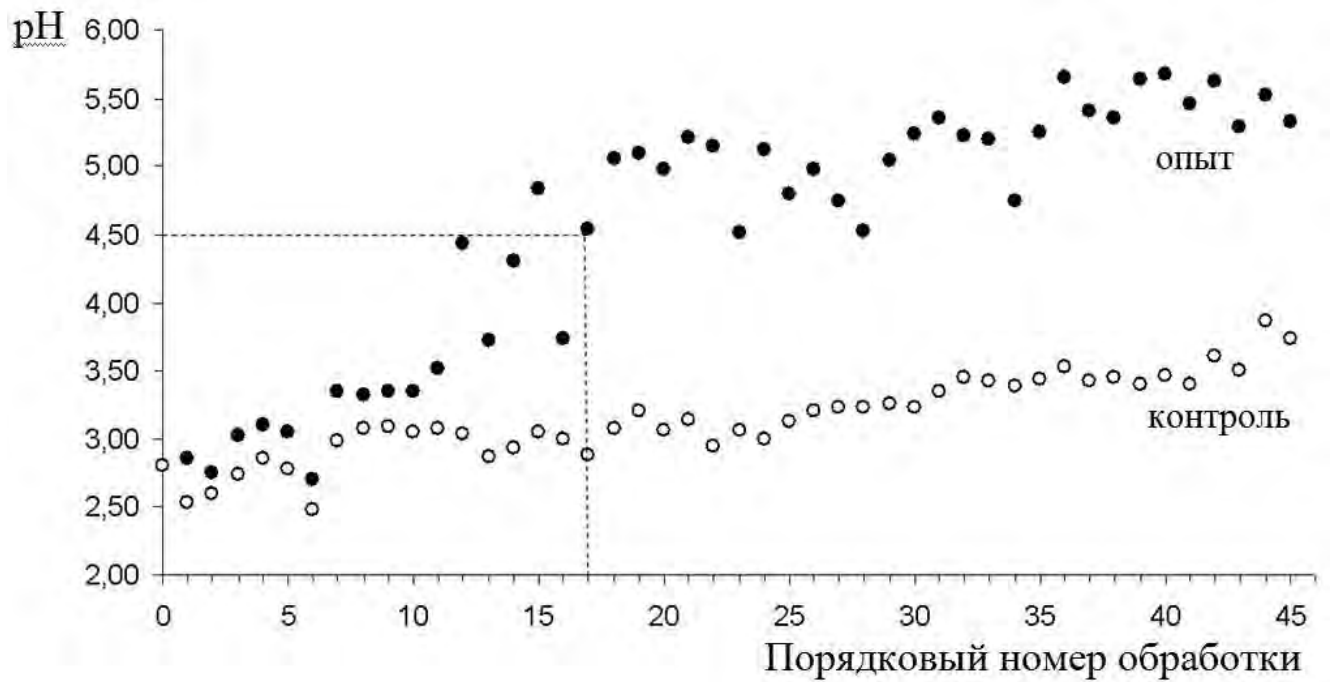


Рисунок 3-11 – Влияние длительности активирования сульфатвосстанавливающих микроорганизмов на изменение pH порового раствора негорелого грунта отвала шахты Северная [Maksimovich et al., 2020]

Таблица 3-17 – Изменение рН и содержания сульфатов в дренажных водах экспериментальных колонок

Грунт	Дата отбора	рН	Содержание сульфатов, мг/л
горелый	25.04.2018	5,52	590,3
	10.05.2018	5,85	105,5
	18.05.2018	5,86	107,3
негорелый	25.04.2018	5,23	150,9
	10.05.2018	5,65	69,8
	18.05.2018	5,45	78,3

Результаты проведенных исследований показали, что активизация жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов породного отвала шахты Северная путем добавления органических соединений приводит к изменениям химической характеристики жидкой компоненты грунта. Для достижения требуемой величины рН в поровых водах грунта отвала необходимо произвести 17 обработок негорелого грунта и 10 обработок горелого. При этом в грунте происходят следующие процессы. Сульфатвосстанавливающие микроорганизмы потребляют вносимые органические соединения и восстанавливают сульфат-ионы порового раствора с образованием углекислого газа и сероводорода. Образующийся углекислый газ нейтрализует кислотность поровых вод, а сероводород связывается с ионами металлов, образуя нерастворимые сульфиды и предотвращая тем самым гидролиз ионов металлов и появление добавочных протонов в поровых водах. Выпадение сульфидов сопровождается снижением пористости грунта, образованием в нем новых структурных связей и, как следствие, ростом прочности и устойчивости склона отвала.

На результаты проведенных экспериментов можно посмотреть и с другой стороны. Используемый нами раствор органических веществ по их концентрации соответствует содержанию органического вещества в почвенном растворе при разложении наземной растительности [Jones et al., 2004, Jones, Murphy, 2007] и, таким образом, может имитировать поступление в тело отвала, покрытого сверху растительностью, органических веществ от разлагающейся растительности в результате выпадения атмосферных осадков. Другими словами, каждый дождь, выпадающий на поверхность заросшего растительностью отвала, вызывает активизацию в грунте отвала жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов в результате поступления с фильтрующимися через тело отвала водами органических веществ, образовавшихся в результате разложения растительных остатков на поверхности отвала. В соответствии с периодичностью выпадения осадков следует ожидать

Таким образом, разработанная технология формирования состава и свойств жидкой компоненты грунта заключается в активировании жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов породного отвала путем добавления органических соединений, что приводит к изменениям химической характеристики жидкой компоненты грунта, а именно, снижению кислотности поровых вод. По результатам исследования подана заявка на изобретение (Заявка № 2021119326).

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ГАЗОВОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА

4.1. Микроорганизмы и газовая компонента грунта

4.1.1. Угледородоокисляющий «бактериальный фильтр»

Как отмечалось выше, микроорганизмы активно участвуют во всех биогеохимических циклах элементов, а масштабы их жизнедеятельности имеют глобальный характер, определяющий формирование и стабильность химического состава атмосферы [Сергеев, 1978].

В 1937 г. Г.А. Могилевским при осуществлении газовой съемки было обнаружено, что содержащиеся в подпочвенном воздухе над залежами нефти и газа микроколичества углеводородных газов и некоторых негорючих компонентов (например, закиси азота) испытывают сезонные колебания, а иногда и полностью исчезают. Эти наблюдения навели его на мысль о возможном существовании в подпочвенных отложениях микробного ценоза, потребляющего углеводородные газы миграционного потока из недр. Предположение о наличии своеобразного биологического фильтра не только объясняло сезонные изменения показателей газовой съемки по грунтам, но и открывало возможность использовать естественно обитающую угледородоокисляющую микрофлору в качестве весьма чувствительного биологического индикатора для поисков месторождений нефти и газа. Проведенные научно-исследовательские работы подтвердили обоснованность выдвинутого предположения [Могилевский, 1938, 1953]. Открытому им явлению Г.А. Могилевский дал название «бактериального фильтра» [Могилевский и соавт., 1970]. Последующими исследованиями наличие такого бактериального фильтра было установлено во всех нефтегазоносных

районах как Советского Союза, так и зарубежных стран [Зобелл, 1972, Могилевский, 1959, 1979].

Впервые понятие о бактериальном фильтре Г.А. Могилевский сформулировал в 1953 г.: «Перечисленные виды углеводородной микрофлоры, соотношение которых, меняясь с глубиной, зависит от качественного состава подземной атмосферы, образуют в своей совокупности своеобразный биологический фильтр, способный задержать и переработать значительную часть горючих газов, просачивающихся к поверхности... Этот процесс биохимического окисления углеводородных газов, как показали исследования подземных вод и кернов структурных скважин, распространяется на значительную глубину, хотя наиболее активно он протекает в зоне выветривания (аэрации)... Более того, в результате процессов микробиологического окисления углеводородов в почвах накапливаются различные продукты бактериальной жизнедеятельности: углекислота, гуминовые вещества и т.п.» [Могилевский, 1953]. Позднее он дополнил формулировку: «Наряду с использованием бактериального фильтра в поисковых целях, ему принадлежит важная роль в предохранении окружающей среды от загрязнения газообразными и жидкими углеводородами различного генезиса» [Могилевский и соавт., 1979].

Открытие Г.А. Могилевского послужило не только теоретической базой для нефтегазопроисводительной микробиологии, но и имело решающее значение в оценке глобальной экранирующей роли углеводородокисляющего биоценоза природных экосистем, его роли в круговороте углерода, формировании безуглеводородной атмосферы Земли и биогеохимических эффектов в субвертикальных зонально-кольцеобразных зонах литосферы, обуславливающих явление парагенезиса геофизических, геохимических и биогеохимических полей в осадочном чехле земной коры [Основы..., 1993]. В настоящее время усилиями микробиологов и биогеохимиков изучены различные аспекты жизнедеятельности углеводородокисляющей микрофлоры многих природно-экологических ниш, видового состава и биохимических особенностей основных физиологических групп микроорганизмов этого биоценоза. Получило признание специалистов и

введено в научный лексикон и само понятие «бактериального фильтра» Земли [Гальченко, 2001, Заварзин, 1979].

Главным обязательным и необходимым фактором развития и активности углеводородокисляющей микрофлоры является присутствие в среде обитания молекулярного кислорода. Самые высокие и стабильные концентрации свободного кислорода в природе отмечаются в атмосфере – 21% об. При проникновении атмосферного кислорода в почвы, поверхностные и подземные воды он быстро расходуется вследствие высокой химической активности на различные окислительные реакции, в том числе и связанные с жизнедеятельностью микроорганизмов. В почвенном воздухе количество кислорода колеблется от 20,6 до 7,6 %, причем с глубиной по почвенному профилю его концентрации закономерно снижаются [Нерпин, Чудновский, 1971]. Постоянное потребление кислорода, идущего на процессы химического и биохимического окисления, восполняется за счет поступления его из атмосферы параллельно с процессом образования углекислоты и ее частичным выделением в атмосферу, а также ассимиляцией корневой системой растений и микрофлорой почв. Полное обновление воздуха в слое почвы до глубины 20 см при небольшом количестве влаги осуществляется за 1 час [Ландина, 1992]. По данным Д.Г. Звягинцева (1977), почвенный воздух содержит в 10–100 раз больше углекислоты, чем атмосферный. Концентрации кислорода имеют обратную зависимость. Содержание азота несущественно отличается от атмосферного. Кроме того, в почвенном воздухе всегда содержатся пары воды и ряд микрогазов (CO , N_2O , NO , CH_4 , этилен, ацетилен, H_2 , H_2S , NH_3), а также летучие органические компоненты (меркаптаны, терпены, спирты, эфиры, пары органических кислот). Концентрации микрогазов и летучих компонентов обычно не превышают 10^{-9} – 10^{-12} об.% [Звягинцев, 1977]. Дыхание почв определяется скоростью выделения углекислого газа, которая составляет от 0,01 до 1,5 г/см²·ч. Суточные колебания состава почвенного воздуха отмечены до глубины 0,5 м, сезонные колебания – не глубже 1 м. При этом установлено, что сезонная динамика состава почвенного воздуха отражает биологические ритмы.

Концентрация углекислого газа максимальна летом в периоды наивысшей биологической активности, когда достигается насыщение почв углекислотой. По мере затухания биологической деятельности происходит отток углекислого газа в атмосферу. Установлено примерное равенство между суммарным содержанием углекислого газа и кислорода в атмосферном воздухе и общим содержанием этих газов в почвенном воздухе. В большинстве случаев наблюдается возрастание доли выделенного углекислого газа, неэквивалентное количеству поглощенного кислорода [Ландина, 1992], что обычно объясняется образованием углекислого газа в результате окисления не кислородом, а иными окислителями, содержащими атомы кислорода в составе своей молекулы (например, окисление сульфат-ионами в результате микробиологического процесса сульфатредукции). Согласно И.В. Высоцкому (1954), содержание кислорода в составе природных газов на глубинах порядка 20 м не превышает 1% об., а на глубинах более 100 м он практически отсутствует ввиду восстановительной обстановки недр на этих глубинах.

Наличие обмена веществ является вторым необходимым условием жизнедеятельности микробиоценоза бактериального фильтра. В среде обитания должно поддерживаться определенное количество необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов компонентов, обеспечивающих их энергетический и конструктивный обмен. Необходим также и отток или распад продуктов жизнедеятельности. Экзометаболиты, как правило, являются ингибиторами роста, и накопление их в среде ведет к гибели или временной остановке роста микроорганизмов. Громадную роль в природных экосистемах играют синтрофные ассоциативные комплексы разных видов микроорганизмов, специализирующихся на взаимной ассимиляции экзометаболитов, что обеспечивает их рост даже в условиях слабой динамики среды. Однако, для поддержания жизнедеятельности даже самых олиготрофных биоценозов необходимо поступление основного субстрата для вида, находящегося в начале пищевой цепочки [Заварзин, 2003].

Динамика среды поверхностных водоемов осуществляется течениями и вертикальной и горизонтальной циркуляцией воды; в почвах – фильтрационными и капиллярными процессами, атмосферным давлением воздуха и другими факторами; в подземных водах зоны активного водообмена – фильтрационными и фильтрационно-диффузионными процессами, а в водоносных горизонтах зоны замедленного водообмена – в основном диффузионными процессами [Физико-химические..., 1986]. Поступление кислорода и других жизненно необходимых компонентов в водоносные горизонты связывают с фильтрацией дождевых, талых и поверхностных вод [Зорькин, 1973, Карцев, 1972, Кулик, 1978]. Так в четвертичных отложениях Пермского Предуралья скорости фильтрации грунтовых вод составляют: для суглинков, супесей и песков от 0,002 до 7,77 м/сут; для песчано-гравийных горизонтов – от 0,5 до 97 м/сут [Химическая..., 1967]. С глубиной движение вод резко замедляется, и их скорость для грунтовых вод на глубинах до 100 м составляет до 400 м/год; для водоносных горизонтов зоны интенсивного водообмена на глубинах 100–700 м скорость составляет около 4 м/год; в зоне замедленного водообмена на глубинах 700–1000 м скорость составляет 4–0,15 м/год и в зоне пассивного водообмена на глубинах 1000–3000 м скорость составляет менее 0,15 м/год [Гидрогеологические..., 1973]. По А.А. Карцеву (1972), скорости фильтрации подземных вод нефтегазоносных бассейнов составляют 0,01–0,1 м/год.

Из залежей нефти и газа существует субвертикальный диффузионно-фильтрационный массоперенос углеводородов и сопутствующих компонентов в приповерхностные горизонты зоны поисково-геохимического зондирования, в результате чего образуются газовые, битуминологические и микробиологические аномалии. Установлено, что даже породы-флюидоупоры (глины, каменная соль) не являются абсолютным непроницаемым экраном для газового миграционного потока из недр земли [Исаев и соавт., 1986, Основы..., 1967, Основы..., 1993, Прямые..., 1970, Физико-химические..., 1986]. Многочисленными исследованиями показано, что субвертикальный диффузионно-фильтрационный массоперенос флюидов в основном осуществляется по многочисленным зонам

разуплотнения пород, зонам трещиноватости и тектонических нарушений, которые выявляются геофизическими, структурно-геоморфологическими и аэрокосмическими методами [Зорькин и соавт., 1980, Основы..., 1967, Основы..., 1993, Прямые..., 1970]. Повышение гидродинамической активности водонапорных систем и усиление разгрузки газов пластовых вод интенсифицируются неотектоническими процессами [Зорькин и соавт., 1980]. Подтверждением ведущей роли неотектоники в формировании миграционного газового потока является и сравнение результатов грунтовой газобиохимической съемки по скважинам шнекового бурения с данными структурного дешифрирования аэрофотоснимков, морфометрических и структурно-геоморфологических построений, выполненных на ряде месторождений. Оказалось, что природа кольцевых и прямых газобактериальных аномалий обусловлена характером расположения линейных зон высоких значений мегатрещиноватости: в первом случае они окаймляют нефтегазоносности месторождений, во втором — пересекают его [Оборин и соавт., 1988]. Скорость вертикальной фильтрации флюидов по геотермическим данным составляет для Днепровско-Донецкого артезианского бассейна $(22,8-1,6) \cdot 10^{-2}$ м/год [Геотермические..., 1979]. Средние величины миграционного газового потока на Межевском полигоне (Пермский край) составляют $2,8-37,0$ см³/сут с площади 1 м². Среди газообразных углеводородов превалирует метан, особенно в законтурных скважинах. В контуре же нефтегазоносности характерно постоянное присутствие тяжелых гомологов метана, поэтому в среднем над контуром концентрация пропана и бутана выше, чем в законтурных участках [Оборин и соавт., 1988].

О преобладании фильтрационного массопереноса свидетельствуют результаты многих исследований в различных регионах бывшего Советского Союза [Исаев и соавт., 1986, Соколов, 1947, 1956, Старобинец, 1986]. За счет фильтрационного процесса по зонам микротрещиноватости формировались многочисленные поверхностные нефтегазопроявления над месторождениями нефти и газа [Барташевич, 1984]. Так в США около 12 % месторождений имеют

выходы нефти и газа на поверхность [Соколов, 1956], поверхностные газопроявления известны на Уренгойском, Самотлорском месторождениях в Западной Сибири, на многих месторождениях Предкавказья, Азербайджана, Предкарпатья и Волго-Уральской области [Барташевич, 1984, Соколов, 1947, 1971].

Таким образом, наиболее благоприятными для жизнедеятельности углеводородокисляющих микроорганизмов являются подпочвенные аэрируемые горизонты до уровня грунтовых вод, а также зоны неотектонической трещиноватости, характеризующиеся повышенной флюидодинамикой.

По современным представлениям бактериальный фильтр Земли – это своеобразный природный катаболический экран в аэрируемой зоне литосферы, представленный уникальной трофической природной системой микроорганизмов, включающей синтрофные микробные сообщества аэробных, хемолитотрофных и гетеротрофных микроорганизмов, основу которой составляют углеводородокисляющие бактерии [Оборин и соавт., 2004].

Наиболее изучена деятельность микроорганизмов в преобразовании углеводородных газов, которые являются для них необходимым ростовым субстратом и источником энергии. Углеводородокисляющие бактерии, ассимилируя метан и его гомологи, окисляют их в конечном счете до углекислоты и воды. Углекислота является ростовым субстратом для всех автотрофных микроорганизмов, широко распространенных в природных экосистемах литосферы. Поскольку при отсутствии других источников органических веществ углеводородокисляющие бактерии являются основными продуцентами как углекислоты, так и большого комплекса органических компонентов, то они определяют и жизнеспособность всего биоценоза бактериального фильтра, и, следовательно, ответственны за все процессы, обусловленные деятельностью сопутствующей микрофлоры, изменяющиеся в зависимости от условий и химического состава вмещающих горных пород. Об активности бактериального фильтра и его роли в формировании современной безуглеводородной атмосферы Земли свидетельствуют данные о появлении в ряде случаев отрицательных

газовых аномалий по грунтовым водам над контуром нефтеносности месторождений [Могилевский, Оборин, 1967], а главное – стабильность фоновых концентраций углеводородных газов в земной атмосфере [Могилевский и соавт., 1979].

Газоокисляющий биоценоз почв, как показали результаты режимных наблюдений на Межевском нефтяном месторождении, способен реагировать даже на ежемесячные циклы колебания концентраций углеводородных газов, связанные с фазами солнечно-лунных гравитационных волн, ввиду многовековой адаптации к колебаниям скорости поступления ассимилирующего субстрата. Количество жизнеспособных клеток конкретной популяции относительно стабильно, а колебания в росте численности лимитируются колебаниями концентраций, обусловленных нестабильностью пульсирующего характера миграционного газового потока. Это подтверждается и результатами количественного счета клеток гетеротрофов и углеводородокисляющих бактерий [Ившина и соавт., 1987а]. При этом потенциальные возможности живых клеток только пропан-, бутаноокисляющих родококков в почво-грунтах на глубинах до 1,5 м более чем в 100 раз превышают интенсивность наблюдающегося газового углеводородного дыхания недр [Ившина и соавт., 1987б].

Эффективность экранирующей роли бактериального фильтра обеспечивается, очевидно, и далеко не полностью используемыми потенциальными возможностями углеводородокисляющих бактерий. Так наблюдалось резкое увеличение численности бактерий в почво-грунтах над подземными газохранилищами через год после их заполнения газом. Образование бактериальных аномалий над газохранилищами в ряде случаев предшествовало обнаружению газовых аномалий, что свидетельствует о достаточно высокой чувствительности бактерий [Могилевский и соавт., 1971].

Для условий Пермского Предуралья по данным режимных наблюдений установлено, что зона максимальной интенсивности бактериальных процессов окисления газообразных углеводородов расположена на глубинах 0,5–3,0 м. Ниже, до уровня грунтовых вод, располагается зона относительно низкой, но

постоянной интенсивности бактериального фильтра. Ввиду того, что в пластовых водах наибольшее распространение получили углеводородокисляющие родококки, характеризующиеся, в основном, способностью к окислению жидких алифатических углеводородов C_9 – C_{16} , а не летучих C_5 – C_8 и газообразных C_1 – C_4 *n*-алканов, газообразные и летучие *n*-алканы ореола рассеивания газонефтяных месторождений могут свободно мигрировать до уровня грунтовых вод [Бердичевская, 1983]. Зона максимальной интенсивности бактериального фильтра, где окисляется 85–90 % газообразных углеводородов, характеризуется сезонными колебаниями температур и относительной обедненностью органикой. Характерной особенностью углеводородокисляющих бактерий является их способность к олиготрофии, азотфиксации, высокая адаптация к экстремальным условиям среды (криотолерантность, способность к образованию спор и цист), что определяет широту диапазона их распространения в природных условиях и практически повсеместность их присутствия во всех изученных экологических нишах [Ившина и соавт., 1987б].

Бактериальные процессы окисления газообразных и жидких углеводородов – ведущие в биоценозе бактериального фильтра педосферы и в целом зоны гипергенеза. Они тесно связаны с процессами гетеротрофии и с бактериальными процессами циклов азота, водорода, а также (особенно в субанаэробных условиях, преобладающих на больших глубинах зоны нефтегазопроисхождения зондирования) с метаногенезом и бактериальными процессами цикла серы. Бактериальное окисление углеводородов идет в подземных водах гидродинамической зоны как активного, так и затрудненного водообмена [Оборин и соавт., 2004].

С помощью радиоизотопного метода микробиологических исследований оценены скорость и масштаб бактериального образования и окисления метана в подземных водах Пермского Предуралья, согласно которым поток бактериального метана, генерирующегося в зоне поисково-геохимического зондирования и частично пополняющего современный миграционный газовый поток выше первого регионально-нефтегазоносного башкиро-верейского комплекса отложений, залегающего на глубинах 1200–1500 м, составляет

89,95 см³/сут на 1 м² в районе Мазунинского и 54,06 см³/сут на 1 м² в районе Межевского нефтяных месторождений. При этом бóльшая часть метана не достигала земной поверхности, окисляясь в зоне максимальной интенсивности бактериального фильтра, которая была приурочена к хлоридно-натриевым и сульфатно-кальциевым водоносным горизонтам зоны затрудненного водообмена на глубинах 150–1500 м [Оборин и соавт., 2004].

Микробиологическое окисление углеводородов алканотрофной микробиотой в зоне затрудненного водообмена изучено в подземных водах палеозойских отложений Ярино-Каменоложского месторождения (Пермский край). Экологическая обстановка пластовых вод характеризуется дефицитом кислорода, повышенной соленостью, иногда повышенной температурой и сдвигом pH в сторону кислых значений. Установлено, что углеводородокисляющее сообщество пластовых вод нефтяных месторождений в основном составляют бактерии рода *Rhodococcus*. Они встречаются как в пластовых рассолах, так и в пластовых водах меньшей солености. Распространение углеводородокисляющих бактерий родов *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus* и *Flavobacterium* ограничено нагнетательными скважинами и эксплуатационными скважинами с пластовой водой, сильно разбавленной длительным заводнением. Отношение к pH среды у разных видов углеводородокисляющих бактерий весьма специфично, но в большинстве для них кислые и слабощелочные значения pH пластовых вод не являются фактором, ограничивающим их жизнедеятельность. Типичные представители углеводородокисляющей микрофлоры пластовых вод являются мезофилами с температурным оптимумом 20–35 °С, что соответствует температуре нефтяных пластов (20–25 °С). Наиболее высокая численность жизнеспособных углеводородокисляющих бактерий выявлена в призабойных зонах нагнетательных и эксплуатационных скважин. С увеличением солености их численность падает. В пластовых рассолах в 1 мл встречаются лишь единицы углеводородокисляющих бактерий. Заводнение пресными водами создает условия для развития сульфатвосстанавливающих и метанобразующих бактерий, причем

отмечается последовательное изменение во времени общего бактериального биоценоза: углеводородокисляющие бактерий сменяют сульфатвосстанавливающие, а тех в свою очередь сменяют метанообразующие. При этом активность микрофлоры в пластах в 2,5–20 раз ниже активности микрофлоры в поверхностно-пресных водах [Оборин и соавт., 2004].

Громадная, далеко еще полностью не оцененная роль биоценоза бактериального фильтра Земли в круговороте углерода биосферы заключается в том, что углеводородокисляющие микроорганизмы наряду с фотосинтезирующими организмами ассимилируют газообразные углеродные соединения, возвращая тем самым углерод в биологический цикл и наращивая общую биомассу и общие запасы органического вещества биосферы. При этом метанотрофия является главным связующим фактором на пути миграции метана из недр в составе «газового дыхания» Земли. Большая его часть (78–92 %) окисляется до углекислоты, 5–16 % ассимилируется и включается в биомассу, и только 3–8 % сорбируется пелитовыми, гумусовыми и битуминозными компонентами почв и горных пород. Утилизируя метан и его гомологи, поступающие из недр нашей планеты, углеводородокисляющие микроорганизмы пополняют энергетические ресурсы биосферы в виде восстановленных органических веществ и обеспечивают равновесие метана как в подземном, так и в атмосферном воздухе. Дополнительный постоянный подземный источник углекислоты, вовлекаемой дальше в биологический цикл, очевидно, повышает эффективность фотосинтеза и наращивание фитомассы. Интегральным результатом всех этих биологических процессов является повышение общего плодородия почв. По оценке В.А. Соколова (1971), скорость накопления биомассы за счет утилизации углеводородных газов "газового дыхания" Земли составляет 100 кг $C_{орг}$ на 1 км² за 1 млн. лет. Окисление углеводородных газов в составе «газового дыхания» Земли специфической микрофлорой бактериального фильтра – это уникальное природное явление планетарного масштаба, экранирующая и регулирующая роль которого в формировании безуглеводородной атмосферы Земли глобальна [Оборин и соавт., 2004].

4.1.2. Углекисло-водородный «бактериальный фильтр»

По аналогии с углеводородокисляющим бактериальным фильтром, расположенным в верхней части аэробной зоны литосферы, основная функция которого заключается в окислении (деструкции) газообразных углеводородных газов метанового ряда, было предложено ввести понятие углекисло-водородного бактериального фильтра, находящегося в сверхглубокой анаэробной биогенной зоне, основная функция которого заключается в синтезе органических веществ, в том числе углеводов, и формировании других соединений, присутствующих в нефти. Очевидно, в этой зоне преобладает бактериальная микрофлора с хемолитотрофным типом питания, активно потребляющая водород, и, по-видимому, происходит первичная продукция органического вещества в процессе хемосинтеза. Следовательно, рассеянное органическое вещество горных пород любого типа, включая и магматогенный, может образоваться за счет жизнедеятельности микрофлоры углекисло-водородного биоценоза, а не только за счет захоронения наземной органики фотосинтетического генезиса [Оборин и соавт., 1999].

Успешным междисциплинарные исследования с использованием геохимических, радиоизотопных и микробиологических методов изменили представления о подземной биосфере и ее роли в глобальных биосферно-геосферных процессах на Земле [Pedersen, 1993]. Микроорганизмы заселяют как подземные воды и флюиды, так и горные породы. Присутствие в нефтях молекул несомненного биологического (в том числе и микробиологического) происхождения: гопанов, пристана, фитана, стеранов, некоторых порфиринов, – говорит о широком распространении микробной жизни на глубинах [Ourisson et al., 1984]. Многочисленные исследования позволили предположить, что подземная биосфера представлена царством прокариот и существует на глубинах 5–10 км. Исследованиями Тюменской сверхглубокой скважины установлено

существование жизнеспособных микроорганизмов на глубине 6800 м [Иларионов и соавт., 1996].

При обсуждении возможных механизмов функционирования подземных микробных сообществ было сделано предположение о возможности первичной продукции в подземных экосистемах. Подземные экосистемы разделяют на «детритные» и «продуктивные». В детритной подземной экосистеме микробный метаболизм преимущественно гетеротрофный и основан на потреблении захороненного органического вещества. Такая система может оказаться в какой-то степени ограниченной из-за истощения запасов питательных веществ (уплотнение, литификация осадков, снижение их пористости, образование более стойких и менее доступных соединений). Альтернативой детритной системе является подземная экосистема, способная образовывать собственное органическое вещество за счет местных неорганических источников энергии, то есть основанная на хемолитоавтотрофности микроорганизмов. Такая система может функционировать вне связи с поверхностью, осуществляя круговорот веществ в глубоких горизонтах [Stevens, 1997]. Продуктивная подземная экосистема перехватывает поток энергии, идущий с глубинными эксгаляциями, участвуя в фильтрации и модификации их и препятствуя выходу различных газов в атмосферу, предотвращая, таким образом, связанную с этим потерю энергии. Микроорганизмы как бы аккумулируют в литосфере часть внутренней и внешней энергии в виде микробной биомассы и продуктов жизнедеятельности, консервируя их в процессах осадконакопления. С течением геологического времени эта заключенная в литосфере энергия биогенных соединений в значительной степени с помощью микроорганизмов поступает в наземные и подземные экосистемы и используется для их развития [Кожевина, 1999]. К. Педерсеном была выдвинута гипотеза о существовании подземной водородзависимой биосферы, которая не нуждается в поступлении с поверхности органического вещества фотосинтетического генезиса и, таким образом, не зависит от наземной биосферы [Pedersen, 1997].

Тем не менее, четкую границу между двумя типами подземных экосистем провести довольно трудно, поскольку реальная скорость метаболизма микроорганизмов в глубоких слоях литосферы чрезвычайно низка, и функционирование микробиоты направлено скорее на сохранение, чем на рост микробной популяции [Chapelle, Lovley, 1990]. Однако потенциальные метаболические возможности бактерий, которые могут активизироваться при изменении экологической обстановки, велики [Phelps et al., 1994]. При этом особое значение имеет изучение бактериального образования в глубоких горизонтах Земли газов (метана, сероводорода, водорода, углекислого газа, азота и его различных газообразных соединений), а также роли микроорганизмов в генезисе подземных вод, так как многие метаболические реакции бактериальной клетки идут с выделением воды. Согласно расчетам, на 1 т образованной микробной биомассы приходится примерно 22,5 тыс. м³ образованного метана и 29,5 м³ воды [Михайлов, 1999].

Микробиологические исследования керна Уральской сверхглубокой скважины показали, что он содержал жизнеспособную микрофлору, в состав которой входили метанобразующие микроорганизмы. Микробное сообщество керна сохраняло жизнеспособность в течение достаточно длительного срока времени (более года), было способно к фиксации молекулярного кислорода, а наиболее распространенными в нем были водородиспользующие, метанобразующие и сульфатвосстанавливающие микроорганизмы. При этом с увеличением глубины состав исследуемых физиологических групп микроорганизмов имел тенденцию к сокращению [Оборин и соавт., 1999].

Микробиологические исследования керна Тюменской сверхглубокой скважины показали, что на глубине 6600 метров присутствует активный микробоценоз, представленный различными физиологическими группами бактерий. Температура керна в скважине достигала 85 °С, что не является пределом для существования микроорганизмов, поэтому высока вероятность обнаружения микроорганизмов и в более глубоких горизонтах литосферы [Иларионов и соавт., 1996].

Таким образом, изучение глубоких горизонтов литосферы на континентах показало, что основными доминирующими газами, мигрирующими из мантии, являются водород, азот и углекислый газ; что рассеянное органическое вещество подземных вод и горных пород любого типа, включая изверженные породы, может формироваться не только за счет захороненной наземной биомассы первично фотосинтетического генезиса, но и за счет органических веществ, образующихся в процессах хемосинтеза биоценозом углекисло-водородного бактериального фильтра Земли в глубоких и сверхглубоких горизонтах литосферы на неорганических субстратах (водороде и углекислом газе). Максимальная геохимическая активность микробиологических процессов приурочена к зонам активной флюидодинамики независимо от генезиса вмещающих пород. Полученные фрагментарные данные о численности микроорганизмов в пробах керна на глубинах ниже 5 тыс. метров, очевидно, не могут адекватно характеризовать плотность заселения микрофлорой на этих глубинах для всей литосферы и едва ли дают истинное представление о масштабах ее геохимической деятельности. В других, более благоприятных по характеру флюидов и гидродинамики условиях численность микроорганизмов и интенсивность осуществляемых ими процессов могут быть выше.

4.2. Микроорганизмы и газовая компонента обводненного грунта

4.2.1. Микробиологические процессы в обводненном грунте

Строительство гидротехнических сооружений связано с решением энергетических проблем, мелиорацией земель, водообеспечением городов и промышленных предприятий. Комплекс гидротехнических сооружений обычно занимает значительные площади и имеет большую зону влияния на состояние и

свойства природных массивов. Его возведение влечет за собой формирование массивов техногенных грунтов из природных, в результате чего целенаправленно формируются техногенно измененные грунты с проектными параметрами плотности, влажности, коэффициента фильтрации [Огородникова, Николаева, 2004]. Обязательной биотической составляющей грунтов, в том числе и техногенных, являются микроорганизмы [Трофимов и соавт., 2005]. Микроорганизмы нуждаются для своего роста в определенных питательных веществах, в состав которых должны входить все те химические элементы, которые необходимы для построения клеточного материала, для активности ферментов и для работы транспортных систем. Кроме того, питательные вещества должны поставлять организму материал, используемый как источник энергии [Готтшалк, 1982]. В грунтах роль такого источника питательных веществ и энергии во многом играет органическое вещество, образующееся в результате жизнедеятельности различных наземных организмов. В обводненные грунты гидротехнических сооружений, содержащие собственное органическое вещество, вместе с фильтрующимися через грунт водами поступают также и органические вещества водных объектов, как водорастворенные, так и в составе взвеси. Микроорганизмы играют важную роль в разложении (минерализации) органического вещества, состав и процессы микробиологической трансформации которого рассмотрены далее.

Большая часть водорастворенного органического вещества, в том числе и в водоемах разного типа, имеет наземное происхождение [Berggren et al., 2010, Schrier-Uijl et al., 2011]. Это органическое вещество уже частично деградировало в наземных грунтовых системах и является бедным, но важным субстратом для развития микроорганизмов водных систем [Романенко, 1985, Berggren et al., 2010, Bianchi et al., 2004, Coffin et al., 1993, Jones, 1992, Karlsson et al., 2002, Malcolm, 1990, Opsahl, Benner, 1997, Schrier-Uijl et al., 2011]. Выдвигают следующие объяснения того, что частично деградировавшее органическое вещество наземного происхождения способно поддерживать метаболизм водных бактериальных сообществ: большое количество поступающего органического

вещества может компенсировать низкую скорость его метаболизма [Moran, Hodson, 1994, Wetzel, 1992, 1995]; под воздействием солнечного ультрафиолетового излучения происходит изменение состава органического вещества с образованием более доступных для микроорганизмов соединений [Bertilsson, Tranvik, 1998]; часть органического вещества может оказаться более доступной для микроорганизмов, чем это считалось ранее, и поддерживать достаточную бактериальную продукцию [Berggren et al., 2010]. Водорастворенное органическое вещество представляет собой один из самых больших активных резервуаров органического углерода в биосфере и состоит как из низкомолекулярных, так и высокомолекулярных соединений [Hedges, 1992]. В низкомолекулярную фракцию входят органические кислоты, аминокислоты и простые сахара, в высокомолекулярную – полисахариды, белки и/или аминосахара, а также гумусоподобные соединения [Jarusutthirak, Amy, 2007]. Часть водорастворенного органического вещества представляет собой коллоидные агрегаты [Bumison, Leppard, 1983, Koike et al., 1990, Wells, Goldberg, 1991]. На долю полисахаридов может приходиться 50% углерода в высокомолекулярной коллоидной фракции водорастворенного органического вещества [Benner et al., 1992]. Исследования с помощью протонного ядерного магнитного резонанса показали высокую степень сходства между высокомолекулярным водорастворенным органическим веществом озер, рек, морской воды и морских осадков. Большая фракция пресноводного высокомолекулярного водорастворенного органического вещества была неотличима от морского по химическим свойствам на молекулярном уровне. При этом в пресноводных объектах высокомолекулярное вещество составило 51% от общего водорастворенного органического вещества, что в среднем было выше, но незначительно отличалось от поверхностной морской воды, где оно составляло 30% от общего водорастворенного органического вещества [Repeta et al., 2002]. В водоемах разного типа содержание органического вещества колеблется от 0,5 до 270 мг С/л и по сезонам года изменяется не более чем в 1,3–1,5 раза [Романенко, 1985]. Наибольшее количество органического вещества наблюдается в

дистрофных водоемах с большой цветностью воды [Кузнецов, 1970]. При этом концентрация органического вещества в воде озер и водохранилищ находится в пределах 3–30 мг С/л. [Романенко, Никифорова, 1974]. Анализы содержания и состава органического вещества водных объектов разного типа показали, что в них постоянно присутствуют трудноусвояемые микроорганизмами фракции [Романенко, 1985, Hedges et al., 1994, Volk et al., 1997, Zsolnay, 2003]. Но ни в каких крупных водоемах, в том числе в морях и океанах, не наблюдается устойчивого накопления подобных соединений, что свидетельствует о их постепенном разрушении микроорганизмами [Романенко, 1985, Berggren et al., 2010, Pakulski, Benner, 1994, Repeta et al., 2002, Volk et al., 1997].

Деструкция взвешенных и растворенных органических веществ – процесс сложный, в котором участвуют сотни видов микроорганизмов из различных физиологических групп [Романенко, 1985]. Гетеротрофные бактерии, для которых растворенное органическое вещество является единственным источником энергии и углерода, выработали за время эволюции активные механизмы транспорта органических соединений в клетку. Это позволило им в естественных условиях потреблять субстрат до концентраций вплоть до 20 мкг/л и ниже и тем самым успешно конкурировать с гетеротрофией водорослей. Последние, используя кинетику простой диффузии, способны активно потреблять органический субстрат лишь при концентрациях выше 500 мкг/л и поэтому вынуждены обходиться автотрофным типом питания, недоступным для гетеротрофов [Печуркин, 1981]. Важную роль в процессе деструкции органических соединений играют экзогенные ферменты, выделяемые микроорганизмами, находящиеся как в свободном состоянии, так и на внешней оболочке их клеток. Под их воздействием в воде образуются сотни метаболитов, которые можно представить в виде постоянного то уменьшаемого, то возрастающего потока, вызываемого и одновременно потребляемого организмами [Романенко, 1985]. Деградация органического вещества микроорганизмами усиливается при высоком содержании в нем углеводов, органических кислот и белков [Marschner, Kalbitz, 2003], но она может быть замедлена включением органического вещества в состав

минеральной матрицы грунта [Eusterhues et al., 2005, Schroeder, Bada, 1976] и/или инкорпорацией его в устойчивые макромолекулы [Harvey et al., 1986], а также в результате ингибирующего действия металлов [Marschner, Kalbitz, 2003]. В то же время деградация органического вещества в присутствии металлов может усиливаться в результате его флокуляции, так как структуры с большими физическими размерами лучше колонизируются микроорганизмами [Marschner, Kalbitz, 2003].

Первый этап деструкции органического вещества представляет собой гидролиз, осуществляемый бактериями-гидролитами, переводящими вещества твердой фазы в раствор, гидролизуя их вне клетки под действием соответствующих экзоферментов-гидролаз, соответственно протеаз, липаз, целлюлаз. Общая картина гидролиза сводится к появлению вместо индивидуальных полимеров унифицированных мономеров, поступающих в общий резервуар растворенных веществ. Рассеиваемый при гидролизе полимера олигомерный продукт может быть использован «микрофлорой рассеяния» - диссипотрофами. Если гидролитики ограничены поверхностью гидролизующих веществ твердой фазы, то для диссипотрофов ограничение обусловлено притоком рассеиваемых веществ. Группы анаэробных гидролитиков и диссипотрофов объединяются в группировку первичных анаэробов, очень четко просматриваемую при анаэробных процессах как группировка бродильщиков, осуществляющая кислотогенную или, иначе, водородную фазу с образованием несбраживаемых продуктов. Почти все продукты брожений представлены, помимо водорода, низшими жирными кислотами, спиртами и аналогичными продуктами, которые не могут быть сброжены далее [Заварзин, Колотилова, 2001, Chidthaisong, Conrad, 2000, McMahon, Chapelle, 2008]. Важным промежуточным метаболитом при разложении органического вещества является уксусная кислота (ацетат) [Christensen, Blackburn, 1982]. Водорастворимое органическое вещество, особенно низкомолекулярная его часть, представлена карбоксикислотами, составляющими 50–90% от его общего количества, аминокислотами (5–32%) и углеводами (5–20%) [Berggren et al., 2010, Hedges et al., 1994, Münster, 1993,

Pakulski, Benner, 1994, Tranvik, Jørgensen, 1995, Volk et al., 1997]. В отдельных случаях содержание углеводов может достигать 35% от общего количества водорастворенного органического вещества [Burney et al., 1982, Romankevich, 1984]. Среди карбоксикислот доминирует уксусная кислота (ацетат), среди аминокислот – аспарагин и серин, среди углеводов – глюкоза и фруктоза [Berggren et al., 2010, Hedges et al., 1994, Münster, 1993, Pakulski, Benner, 1994, Tranvik, Jørgensen, 1995, Volk et al., 1997].

Группировка вторичных анаэробов включает организмы с анаэробным окислительным обменом, обусловленным использованием несбраживаемых продуктов первичных анаэробов в качестве доноров электронов и внешних неорганических акцепторов электронов в окислительно-восстановительных реакциях, приводящих к образованию полностью окисленного продукта разложения органического вещества – углекислого газа – и восстановленного неорганического соединения. Важнейшими донорами электронов для вторичных анаэробов служат: 1) водород и/или ацетат; 2) ацетат и/или этанол; 3) летучие жирные кислоты. Вторичные анаэробы используют все продукты первичных анаэробов [Заварзин, Колотилова, 2001, Chidthaisong, Conrad, 2000, McMahon, Chapelle, 2008].

Таким образом, разложение органического вещества микроорганизмами достигается последовательным восстановлением кислорода (в аэробной среде), нитрат-ионов, ионов железа (III), сульфат-ионов и углекислоты (в анаэробной среде), являющихся конечными акцепторами электронов. Предпочтение между акцепторами электрона для одних и тех же веществ-доноров определяется термодинамическими причинами с использованием в первую очередь реакций, дающих наибольший энергетический выигрыш, то есть реакций, в которых акцептор электронов с более высоким окислительно-восстановительным потенциалом восстанавливается в первую очередь. Последовательность использования акцепторов электронов включает: 1) восстановление нитратов; 2) восстановление Fe^{3+} (железоредукция); 3) восстановление соединений серы в сероводород или сульфидогенез (он же сульфатредукция); 4) восстановление

углекислоты в метан или метаногенез. При этом пока микроорганизмами полностью не исчерпаны ионы Fe^{3+} , не происходят сульфатредукция или метаногенез, а метаногенез не начинается, пока не исчерпаны сульфат-ионы [Заварзин, Колотилова, 2001, Chidthaisong, Conrad, 2000, Achtnich et al., 1995, Lovley, Phillips, 1987].

Наличие в грунтах органических веществ, которые не являются токсичными по отношению к присутствующим в грунте микроорганизмам, предопределяет существование в грунтах разнообразной и многочисленной микробиоты [Звягинцев, 1983, 1987] и является важным фактором для развития газогенерирующих сообществ, требующих анаэробные либо локально микроаэрофильные условия, возможность формирования которых связана с высокой обводненностью грунта [Дашко и соавт., 2014]. При этом доступность органического вещества для его деградации микроорганизмами может являться предварительным условием для создания восстановительных условий в грунте или его компартментах [Marschner, Kalbitz, 2003]. Перечисленные три составляющие – наличие в грунте органического вещества, анаэробной микрофлоры и избыточного содержания влаги – необходимые условия для развития в грунте глеевого процесса, сопровождающегося несбалансированным выносом из грунта железа [Зайдельман, 1974, 1998], что действует как фактор дополнительного снижения прочности пород и грунтов [Дашко и соавт., 2014]. Развитие глеевого процесса способствует образованию смешанослойных слюдисто-вермикулит-монтмориллонитовых образований. В оглеенных почвах происходит образование вермикулитовых и хлоритовых минералов по слюдам, разрушение разбухающих смешанослойных иллит-сметитовых минералов или потеря ими части сметитовых пакетов. Следствием глееобразования может быть вытеснение алюминия из кристаллической решетки минералов ионами двухвалентного железа, ослабление структурных связей в кристаллической решетке минералов. Вынос железа затрагивает, главным образом, его несиликатную фракцию, которая в значительной мере ответственна за водопрочность агрегатов. Происходят изменения и в составе органического

вещества оглеенных грунтов – содержание аминокислот увеличивается в 2,5–3 раза, в них резко возрастает доля дикарбоновых и оксиаминокислот; возрастает абсолютное содержание углеводов, но снижается их относительное содержание в органическом веществе, что связано с усилением разложения в анаэробных условиях; в гумусе наблюдается снижение содержания азота, резко увеличивается абсолютное содержание наиболее агрессивных гумусовых кислот [Зайдельман, 1998]. В затопляемых почвах и грунтах активно развивается микробиологический процесс образования метана [Берестовская и соавт., 2005, Дашко и соавт., 2014, Achtnich et al., 1995, Galchenko et al., 2001, Kotsyurbenko et al., 2007, Melling et al., 2005, Watanabe et al., 2007].

С точки зрения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений и их устойчивости процесс образования метана в обводненных грунтах гидротехнических сооружений является наиболее нежелательным, так как метан малорастворим в воде и в анаэробных условиях, характерных для заводняемой части тела плотины, может накапливаться в газовой фазе. Известно, что малорастворимые газы способствуют разуплотнению песчано-глинистой толщи и переходу песчаных разностей в плывуны, а глинистых грунтов – в квазипластичные среды с возможным проявлением в них тиксотропных свойств [Дашко и соавт., 2014, Радина, 1973]. Высокая активность биохимического газообразования в грунтах под действием природных и природно-техногенных факторов отмечалась Р.Э. Дашко (2000, 2002). В микробиологических исследованиях для подавления нежелательной активности микроорганизмов принято использовать специальные вещества-ингибиторы бактериальных процессов. Подавление микробиологического процесса метаногенеза – технически сложный и экономически затратный процесс, использующий либо такие «экзотические» вещества, как 2-бромэтансульфоновая кислота, либо токсичные для окружающей среды хлорзамещенные аналоги метана – хлороформ, четыреххлористый углерод, хлористый метилен. При этом полного ингибирования процесса удается достичь не всегда [Oremland, Capone, 1988]. По данным Дашко и соавт. (2014), обработка глинистых грунтов антибиотиками

приводила к переходу их в текучее состояние, а обработка водонасыщенных грунтов радиоактивным облучением интенсивностью 1500 рентген/час не приводила к полному подавлению в них микробной активности. С другой стороны, эксперименты показали, что добавление внешнего акцептора электронов ингибирует восстановление акцепторов электронов с более низким значением окислительно-восстановительного потенциала, особенно в случаях лимитирования концентрацией донора электронов [Achtnich et al., 1995]. Так, добавление нитрат-ионов полностью ингибировало метаногенез [Chidthaisong, Conrad, 2000, Klüber, Conrad, 1998], а добавление ионов Fe^{3+} ингибировало сульфатредукцию и метаногенез [Lovley, Phillips, 1986, 1987, Roden, Wetzel, 2003]. Нитратвосстанавливающие, железовосстанавливающие и сульфатвосстанавливающие микроорганизмы успешно конкурировали с метанобразующими организмами за использование органического субстрата [Chidthaisong, Conrad, 2000, Achtnich et al., 1995].

Лавли и Филлипс (1986) при исследовании разложения органического вещества в анаэробных осадках эстуария р. Потомак (США) обнаружили, что добавление соединений окисного железа ингибировало образование метана в осадках. Был сделан вывод, что процесс бактериального восстановления железа может успешно конкурировать с метаногенным путем разложения органического вещества в осадках, а также с бактериальным процессом восстановления сульфатов. В лабораторных условиях наблюдали ингибирование процесса метанобразования на 50–90% в присутствии аморфного оксигидроксида железа. При наличии в анаэробных осадках аморфных оксигидроксидов железа перенос электронов с органического вещества на ионы окисного железа является основным путем окисления органического вещества. В лабораторных исследованиях обнаружили, что скорость бактериального восстановления ионов железа аморфных оксигидроксидов железа была в 10 раз выше, чем в случае использования гематита, то есть в присутствии кристаллических соединений железа перенос электронов с органического вещества на ионы окисного железа был крайне мал. Выявили следующий ряд степени ингибирования бактериального

образования метана соединениями железа: аморфный оксигидроксид железа > акаганеит > гетит > гематит [Lovley, Phillips, 1986].

Дальнейшие исследования этих же авторов показали, что замена аморфного оксида железа на лимоннокислую соль трехвалентного железа приводила к более быстрому росту железовосстанавливающих микроорганизмов и практически полному восстановлению всех добавленных ионов трехвалентного железа в двухвалентное состояние [Lovley, Phillips, 1988].

Бонд и Лавли (2002) наблюдали ингибирование процесса образования метана в осадках в присутствии слабоокристаллизованных оксидов железа. Результаты исследований показали, что мезофильные метанобразующие микроорганизмы обладали способностью восстанавливать оксиды трехвалентного железа и внеклеточные хиноны. Таким образом, ингибирование образования метана в осадках, содержащих соединения трехвалентного железа, может происходить, по крайней мере частично, в результате перенаправления метанобразующими микроорганизмами потока электронов на восстановление ионов железа и внеклеточных хинонов. Перенос метанобразующими микроорганизмами потока электронов на ионы железа наблюдался даже в условиях ингибирования роста и образования метана. Результаты исследования показали, что восстановление ионов железа может происходить в результате жизнедеятельности не только железовосстанавливающих, но и метанобразующих микроорганизмов [Bond, Lovley, 2002].

Роден и Ветцель (2003) наблюдали снижение скорости процесса образования метана в пресноводных осадках в присутствии оксидов железа, когда железовосстанавливающие бактерии успешно конкурировали с метанобразующими за ацетат и водород (промежуточные продукты анаэробного разложения органического вещества) [Roden, Wetzel, 2003].

Роден (2003) показал, что способность микробного сообщества пресноводных осадков к восстановлению кристаллических оксидов железа зависит от общей площади поверхности этих оксидов и ее доступности для микроорганизмов, а не от термодинамических свойств оксидов [Roden, 2003].

Ван Бодегом и соавт. (2004) в лабораторных экспериментах с чистыми культурами метанобразующих микроорганизмов обнаружили прямое ингибирование бактериального процесса образования метана аморфным гидроксидом трехвалентного железа при использовании его в концентрации до 10 мМ. При этом чувствительность к ионам трехвалентного железа метанобразующих микроорганизмов, растущих на смеси водорода с углекислым газом, была выше, чем у метанобразующих микроорганизмов, растущих на ацетате (уксусной кислоте). Культура *Methanosarcina barkeri* при росте на смеси водорода с углекислым газом и росте на метаноле показала способность к восстановлению ионов трехвалентного железа. Сделано предположение, что восстановление ионов железа метанобразующими микроорганизмами также может являться причиной ингибирования метаногенеза соединениями трехвалентного железа [van Bodegom et al., 2004].

Людерс и Фридрих (2002) изучали эмиссию метана с рисовых полей и пришли к заключению, что она может быть уменьшена добавлением в грунт соединений-акцепторов электронов для стимуляции жизнедеятельности микроорганизмов, конкурирующих с метанобразующими микроорганизмами за органические соединения. В качестве соединений-акцепторов они использовали ферригидрит для стимулирования жизнедеятельности железовосстанавливающих микроорганизмов и гипс – для сульфатовосстанавливающих [Lueders, Friedrich, 2002].

Ван дер Гон и соавт. (2001) изучили литературу, посвященную использованию на рисовых полях добавок сульфатсодержащих соединений с целью снижения эмиссии метана с полей. Снижение эмиссии метана зависело не только от количества внесенного сульфата, но было также сайтоспецифичным. Обнаружили логарифмическую зависимость между количеством внесенного сульфата и уменьшением эмиссии метана [van der Gon et al., 2001].

Джекил и соавт. (2005) исследовали возможность снижения эмиссии метана с рисовых полей с помощью добавок соединений железа. Эмиссия метана является результатом двух противоположных процессов, осуществляемых

микроорганизмами – образования метана и окисления его. Авторы исследовали влияние добавок соединений железа на микробное образование метана в заводняемых почвах. В полевых условиях были проведены эксперименты, в ходе которых в начале ростового сезона на опытном рисовом поле использовали добавку ферригидрита. Результаты эксперимента показали, что на опытном участке эмиссия метана составила 50% от эмиссии на контрольном участке. Также отмечено отсутствие токсического воздействия внесенного соединения железа на рис и другие растения. Выход продукции с контрольного и опытного участков не отличались друг от друга, содержание ионов железа в рисе также было одинаковым для контрольного и опытного участков, то есть внесение соединений железа не сказывалось на количестве и качестве продукции. Сделан вывод, что добавление соединений железа может являться подходящей стратегией для снижения эмиссии метана с рисовых полей (Jäckel et al., 2005).

Таким образом, активирование жизнедеятельности бактерий, восстанавливающих ионы трехвалентного железа, может привести к прекращению образования метана в обводненном грунте. Были проведены исследования по формированию состава и свойств газовой компоненты обводненного грунта земляной плотины, а именно, прекращению микробного процесса метаногенеза за счет активирования жизнедеятельности микроорганизмов, конкурирующих с метанобразующими микроорганизмами за субстрат и тем самым подавляющих их развитие и образование метана.

4.2.2. Формирование состава газовой компоненты обводненного грунта

4.2.2.1. Оценка состояния грунта

Исследуемая грунтовая плотина была сооружена в середине XX века способом гидронамыва с обжатым профилем из мелкозернистых песков, добытых из местных карьеров. По классификации техногенных грунтов грунты плотины относятся к классу техногенно-переотложенных, группе строительных, подгруппе намывных (плановмерно намытых), типу грунтов земляных сооружений, подтипу песчаных, виду уплотнившихся [Огородникова, Николаева, 2004]. Максимальная мощность намывных грунтов составляет 35 м. Физико-механические свойства грунтов и их подробное описание приведено в [Оценка..., 2011], характерное инженерно-геологическое строение пойменного и руслового участков плотины представлено на рисунках 4-1–4-3.

Естественным основанием грунтовой плотины являются аллювиальные отложения, развитые на всей площади основания плотины [Отчет..., 1961]. Аллювиальные отложения сложены (сверху вниз) глинами и тяжелыми суглинками, мелкозернистыми песками и гравийно-галечниковыми образованиями. Глины и суглинки слоистые, пылеватые, плотные влажные, в них встречаются растительные остатки. Вся толща аллювиальных глин и суглинков содержит прослойки песка. Гравийно-галечная толща неоднородна по простиранию, по составу заполнителя и содержанию гравия и гальки. В толще наблюдаются линзы мелкозернистого песка и прослойки глин. Также на территории исследований отмечены озерно-болотные (старичные) отложения, которые имеют локальное распространение в виде прослоев. Они залегают на аллювиальных отложениях пойменной террасы, и входят в состав пород, слагающих основание плотины. Отложения представлены глинами и суглинками, торфом, иловыми грунтами и болотно-озерным мергелем. Торф различают

Геолого-литологическая колонка скважины 1

Масштаб 1 : 100

Абс. отметка устья : 101.29 м
Общая глубина : 19.00 м

N слоя п/п	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Описание грунта	Сведения о воде	
		от	до					поверхность воды	устойчивый уровень
1	tgIV	0.00	4.00	4.00	97.79		Песок светло-коричневый, средней крупности, влажный, с большим количеством гальки до 3 см.		
2	tgIV	4.00	6.30	2.30	94.79		Гравийный грунт с песчаным заполнителем. С глубины 6.0 м - водоносный		▼5.00
3	tgIV	6.30	7.80	1.50	93.49		Песок серый водоносный, средней крупности, с небольшим количеством гальки размером до 1 см		
4	g-III	7.80	10.50	2.70	90.79		Глина серо-коричневая легкая пылеватая тв.с. д.я.		9.00
5	g-III	10.50	12.40	1.90	88.89		Глина светло-коричневая пылеватая тягучеplastичная с примесью органических веществ		
6	g-III	12.40	13.60	1.20	87.69		Сылинок серый тяжелый пылеватый тягучеplastичный с примесью органических веществ		▼13.60
7	g-III	13.60	15.70	2.10	85.59		Песок темно-серый мелкий водоносный		
8	g-III	15.70	19.00	3.30	82.29		Гравелистый грунт с песчаным заполнителем водоносный		

Рисунок 4-1 – Геолого-литологическая колонка скважины, расположенной на русловом участке плотины [Оценка..., 2011]

Геолого-литологическая колонка скважины 3

Масштаб 1 : 100

Абс.отметка устья : 103.16 м
Общая глубина : 18.00 м

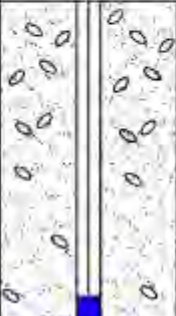
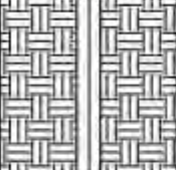
N слоя п/п	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Геолого-литологический разрез	Описание грунта	Сведения о воде	
		от	до					появления воды	устойчив. уровень
1	tgIV	0.00	5.50	5.50	97.66		Песок средней крупности влажный (с глубины 5.0 м – водонасыщенный) с галькой до 3 см		
2	tgIII	5.50	7.50	2.00	95.66		Сыглинки серые легкие песчанистые мягкопластичные с прослоями песка водонасыщенного. В основании – прослой глины тяжелой мягкопл.		
3	tgIII	7.50	10.50	3.00	92.66		Горь темно-бурый сильноразрыхленный нормальнотолстый. В основании – прослой сыглинки темно-бурого слабозатрещинного		
4	tgIII	10.50	11.30	0.80	91.86		Глина серо-зеленая легкая пылеватая тягучеэластичная с примесью органич. веществ		
5	tgIII	11.30	12.60	1.30	90.56		Сыглинки темно-серые тяжелые пылеватые мягкопластичные с примесью органич. веществ		
6	tgIII	12.60	13.70	1.10	89.46		Песок мелкий водонасыщенный с большим количеством гальки до 3 см		
7	tgIII	13.70	16.00	2.30	87.16		Песок средней крупности водонасыщенный с прослоями супеси с большим количеством гальки до 3 см		
8	tgIII	16.00	18.00	2.00	85.16		Гравелистый грунт с песчаным заполнителем водонасыщенный		

Рисунок 4-2 – Геолого-литологическая колонка скважины, расположенной на пойменном участке плотины [Оценка..., 2011]



Рисунок 4-3 – Условные обозначения к рисункам 19 и 20 [Оценка..., 2011]

погребенный (залегающий под слоем более молодых отложений мощностью более 2 м) и поверхностный. Местами поверхностные торфы заменены намывными грунтами. Торф и суглинки, слагающие основание пойменной плотины, находятся в очень мягкопластичном и текучепластичном состоянии [Отчет..., 1961].

Отмечено наличие грунтов, изменивших свою окраску в ходе смены кислородной обстановки на бескислородную после строительства грунтовой плотины. Серые грунты в теле и основании плотины являются признаком восстановительной обстановки, в которой развиваются анаэробные микроорганизмы. Как известно, структурное железо (III) в глинистых минералах может переходить в подвижную форму Fe^{2+} в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, и вымываться с потоком подземных вод, что сказывается на окраске грунтов. Есть сведения, что в результате анаэробной трансформации твердой компоненты заметно изменяется микроагрегатный состав глинистых и супесчаных грунтов, что может повлиять и на их физико-механические свойства [Болотина, Сергеев, 1987, Иванов и соавт., 2014, Иванов, 2015].

Была проведена оценка свойств грунтов тела плотины и ее основания (таблица 4-1).

Гидрогеологическая обстановка в районе исследований, существовавшая в естественных условиях, в значительной степени изменилась после строительства гидротехнических сооружений и в процессе их эксплуатации. Произошли существенные изменения гидродинамических и гидрохимических условий, которые вызваны рядом факторов: изменением напоров подземных вод, фильтрацией пресных вод из водохранилища и др. [Боряев и соавт., 1970].

В настоящее время на участке створа плотины выделяются следующие водоносные горизонты:

- локальный водоносный горизонт в теле плотины;
- аллювиальный водоносный горизонт;
- шешминский водоносный горизонт;
- верхнесоликамский водоносный горизонт;

Таблица 4-1 – Оценка состава и свойств грунтов, слагающих основание и тело земляной плотины [Оценка..., 2011]

Тип грунта	Плотность при естественной влажности, т/м ³	Плотность при полном водонасыщении, т/м ³	Коэффициент внутреннего трения, tg φ	Сцепление, кг/см ²
Тело плотины – намывной песок	1,94	2,09	0,58	0
Основание – торф	1,10	1,10	0,34	0
Основание – суглинок зеленовато-серый илистый	1,92	1,93	0,35	0,18
Основание – песок мелко- и тонкозернистый	1,46	1,94	0,61	0
Основание – супесь желтовато-серая илистая	1,84	1,92	0,33	0,80

– нижнесоликамский водоносный горизонт.

В локальном водоносном горизонте в теле плотины, появившемся после строительства плотины, глубина залегания вод изменяется от 0,65 м в районе дренажной канавы и до 18,62 м в гребневой части плотины. Воды безнапорные. Питание происходит в основном за счет фильтрации вод из водохранилища, а также за счет атмосферных осадков, при этом не исключен переток вод из нижележащего аллювиального горизонта. Воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Разгрузка вод осуществляется в дренажную систему и аллювиальный водоносный горизонт. Воды в теле плотины имеют в основном схожий состав с водами водохранилища (Приложение Г), однако, зачастую на химический состав вод тела плотины оказывают влияние воды аллювиального водоносного горизонта (и наоборот), а также биохимические процессы, происходящие в подземном пространстве района исследований.

В результате режимных наблюдений за химическим составом вод в течение года можно сделать однозначный вывод о том, что органическое вещество, содержащееся в водах водохранилища, легко попадает в приповерхностные подземные воды в районе гидротехнических сооружений и может быть использовано в качестве питательных веществ микроорганизмами и способствовать активизации ряда микробиологических процессов. Основной особенностью водорастворенного органического вещества является его неуглеводородный характер: содержание хлороформенных аквабитумоидов в приповерхностных водах достигает 108–122 мг/дм³. В составе исследованных проб аквабитумоидов преобладают структуры, являющиеся продуктами преобразования биогенного (углеводного, липидного и гумусового) материала, что характерно для природного органического фона гидросферы. Обращает на себя внимание тот факт, что содержание аквабитумоида в пробах из тела плотины было выше, чем в пробах из водохранилища (Приложение Д). По нашему мнению, это является показателем того, что в теле плотины протекают процессы микробного преобразования органического вещества с образованием новых количеств его водорастворимых форм. Источником этого преобразуемого

органического вещества может быть как мортмасса самих микроорганизмов, так и захороненные при создании земляной плотины линзы торфа и донные отложения природного озера. Поступление в тело плотины аквабитумоидов за счет подтока подземных вод нижележащих горизонтов через гидрогеологические окна маловероятно вследствие более низкого содержания в них аквабитумоида по сравнению с пробами из тела плотины.

Через несколько лет после начала эксплуатации гидротехнического сооружения в пьезометрах всех водоносных горизонтов были отмечены газопроявления. В состав газов входили: метан – от 3 до 86%, азот – 8–91%, сероводород и углекислый газ – 0,1–18%, тяжелые углеводороды – до 2%, водород – до 0,6% [Максимович, 2006].

При натурном обследовании в мае 2010 г. колодцев вертикального дренажа обнаруживалось выделение газов в свободном виде. Газовыделение усиливалось при ударе пробоотборного оборудования о дно колодцев. В колодцах были установлены газосборные ловушки, однако выделение газов в колодцах прекратилось, что возможно связано с плановым снижением уровня подпора воды на плотине, в результате чего газы, скопившиеся под телом плотины, больше из-под нее не выдавливались.

Опробование газового состава атмосферы колодцев вертикального дренажа и грунта плотины проводилось в июле 2016 г. и августе 2017 г. с использованием переносного экспресс-газоанализатора Escorprobe-5 (RS DYNAMICS, Чешская республика) (Приложение Е). При интерпретации данных привлекались результаты проведенных в 2011 г. аналогичных работ. Исследования включали опробование 82 шпуров (глубина 0,5–0,7 м) и колодцев вертикального дренажа. В 2016 г. присутствие метана в подпочвенном воздухе зафиксировано в 35 из 82 опробованных шпуров (42,7%) при колебании максимальных концентраций метана (CH_4max) от 111 до 12772 ppm (167–19150 мг/м³). При относительно близкой частоте встречаемости метана в 2011 и 2016 годах, его концентрации в подпочвенном воздухе в 2016 г. значительно возросли: средняя концентрация увеличилась с 86 до 736 ppm, а в 11 шпурах его содержание превысило 1000 ppm

(935 мг/м³). Распределение суммарного содержания углеводородов C₁–C₅ (УВГ_{max}) носит близкий характер. Аномально высокие значения данного параметра (1591–12392 ppm) зафиксированы в шпурах, где отмечено повышенное содержание метана. Содержание диоксида углерода (CO₂_{max}) колеблется от 743 ppm до 52091 ppm (406–28468 мг/м³) при среднем значении 10534 ppm, что тоже значительно превышает концентрации, зафиксированные в 2011 г. (38–8101 ppm, среднее – 739 ppm). Аномально высокие концентрации диоксида углерода (более 10000 ppm), как правило, приурочены к зонам повышенного содержания метана (более 1000 ppm), имея более широкие контуры распространения. Такой характер распределения метана и диоксида углерода позволяет предполагать об их общем источнике образования (предположительно – биохимическое преобразование рассеянного в грунтах органического вещества). Суммарное содержание летучих органических соединений (ЛОС_{max}) колеблется в пределах 0–15,1 ppm (среднее 2,13 ppm), что несколько ниже концентраций, зафиксированных в 2011 г. Максимальные концентрации ЛОС (10,6–15,1 ppm) зафиксированы в подпочвенном воздухе западной части плотины, где в 2011 г. практически во всех пикетах их концентрация превышала 10 ppm.

В 2017 г. по сравнению с результатами 2016 г. концентрации CO₂_{max}, УВГ_{max}, CH₄_{max}, а также летучих органических соединений (ЛОС) снизились (таблица 4-2). Так, средние значения CH₄ в 2017 г. составили 51,5 ppm, при этом в 2016 г. средние значения CH₄ достигли максимума за все три периода наблюдений и составили 736,5 ppm с максимальным значением 12771,9 ppm.

Таким образом, анализ состава воздуха дренажной системы плотины показал присутствие в нем метана, углеводородных газов C₂–C₅, летучих органических соединений и углекислого газа. Эти же соединения обнаруживались в составе газовой компоненты грунта плотины. Наблюдалось совпадение трендов распространения метана и углеводородных газов C₂–C₅, а также летучих органических соединений и углекислого газа. При этом тренды распространения метана и углеводородных газов C₂–C₅ имели обратный характер по отношению к

Таблица 4-2 – Статистические параметры состава подпочвенного воздуха по результатам опробования [Мониторинг..., 2017]

Параметр	Дата опробования	Максимальная концентрация, ppm			
		ЛОС	CH ₄	УВГ	CO ₂
Минимальное значение	2011 г.	0,00	0,00	0,00	38,30
	2016 г.	0,00	0,00	0,00	406,10
	2017 г.	0,00	0,00	0,00	32,69
Максимальное значение	2011 г.	18,50	557,72	195,80	8101,20
	2016 г.	15,13	12771,90	12392,20	52090,90
	2017 г.	0,54	1830,91	23418,76	16230,27
Среднее значение	2011 г.	5,81	86,54	22,80	739,00
	2016 г.	2,13	736,50	634,40	10533,60
	2017 г.	0,02	51,50	511,61	4484,40

трендам распространения летучих органических соединений и углекислого газа (рисунки 4-4–4-7) [Максимович и соавт., 2014].

По результатам анализов грунта плотины и речной воды был сделан вывод о протекании в теле плотины микробиологического процесса метаногенеза в результате поступления с речными водами органического вещества преимущественно техногенного происхождения (содержание $C_{\text{орг}}$ 108–122 мг/дм³). Протекание процесса метаногенеза обнаруживалось практически на всем протяжении плотины [Максимович и соавт., 2014]. Распределение метана было неравномерно по профилю плотины, а концентрация его изменялась в разные годы, что свидетельствует в пользу микробиологического происхождения метана и связано, по-видимому, с неравномерным характером поступления органических соединений в речные воды.

4.2.2.2. Оценка микробной составляющей грунта

Активизация различных физиологических групп микроорганизмов в грунтовых плотинах происходит за счет постоянного поступления органических веществ с водами из водохранилища, из прослоев торфа в основании плотины, являющихся и источником микроорганизмов, а также донных отложений засыпанного озера. Также стоит отметить, что микробиологические процессы могут протекать с разной степенью интенсивности в различные сезонные периоды и отличаться от года к году.

Натурные работы в рамках мониторинга микробиологических процессов в грунтовой плотине проводились в период 2016–2017 гг. Программа проведения мониторинга была разработана таким образом, чтобы оценить периоды активизации микроорганизмов в рамках годичного цикла технологических и гидрологических режимов водохранилища. По результатам годичных наблюдений зафиксировано, что активность микробиоты изменяется посезонно.

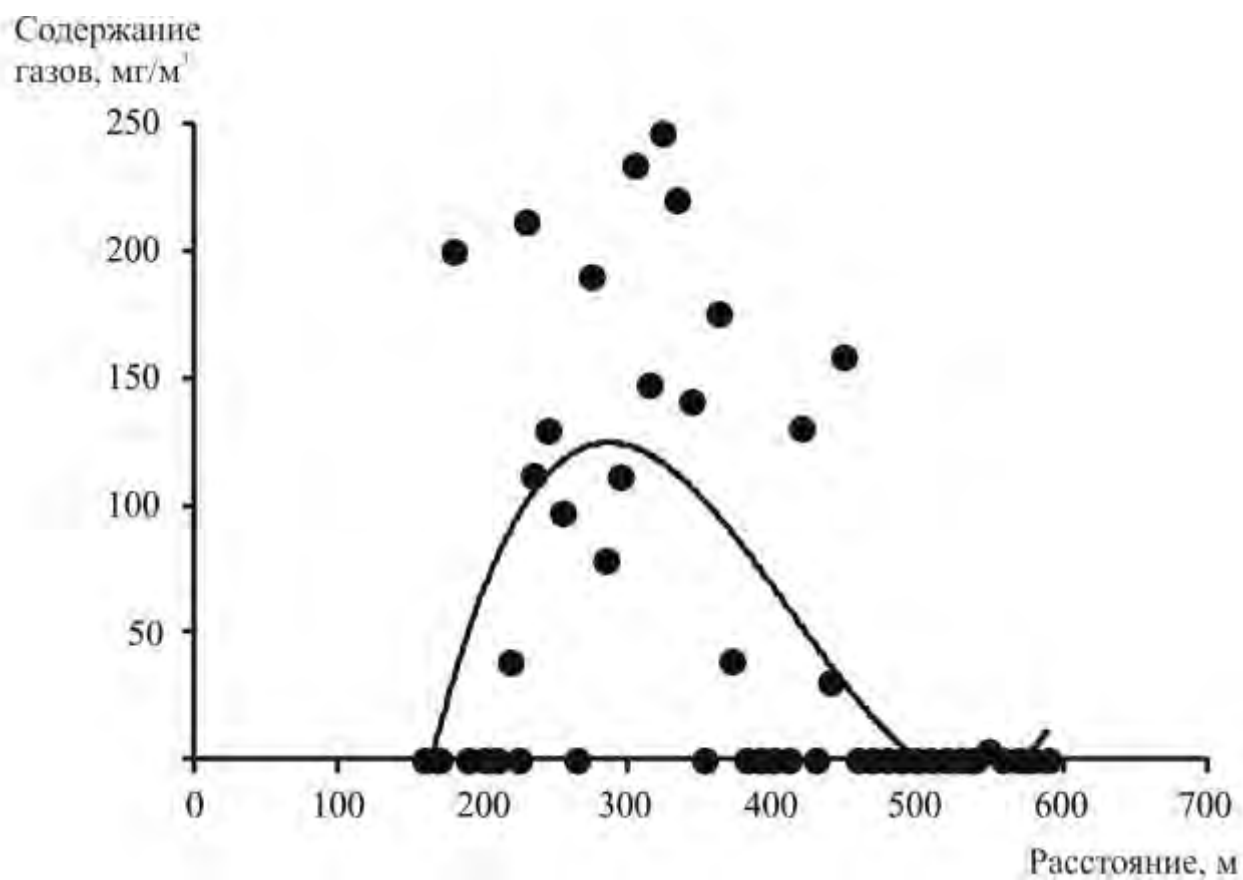


Рисунок 4-4 – Содержание метана в грунте плотины по результатам газовой съемки [Максимович и соавт., 2014]

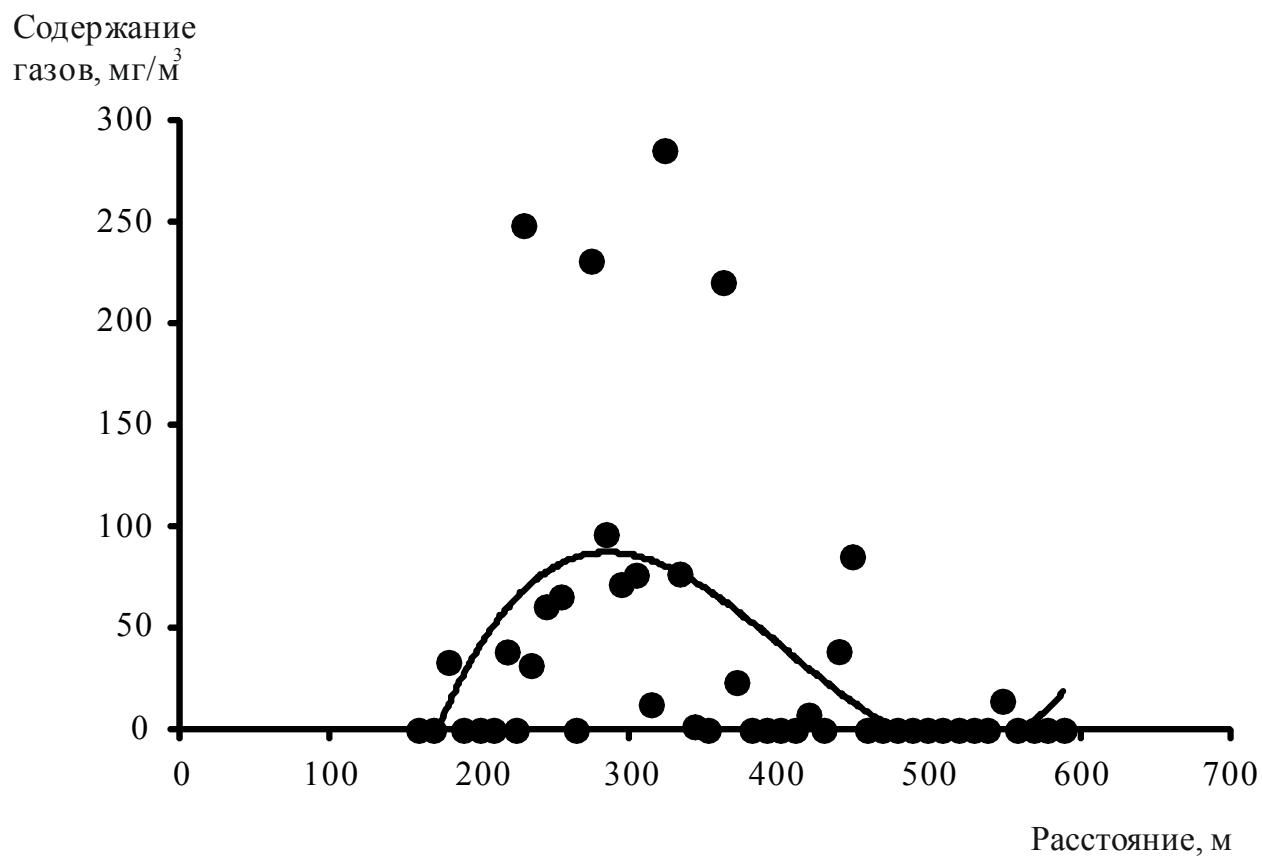


Рисунок 4-5 – Содержание углеводородных газов C_2-C_5 в грунте плотины по результатам газовой съемки [Максимович и соавт., 2014]

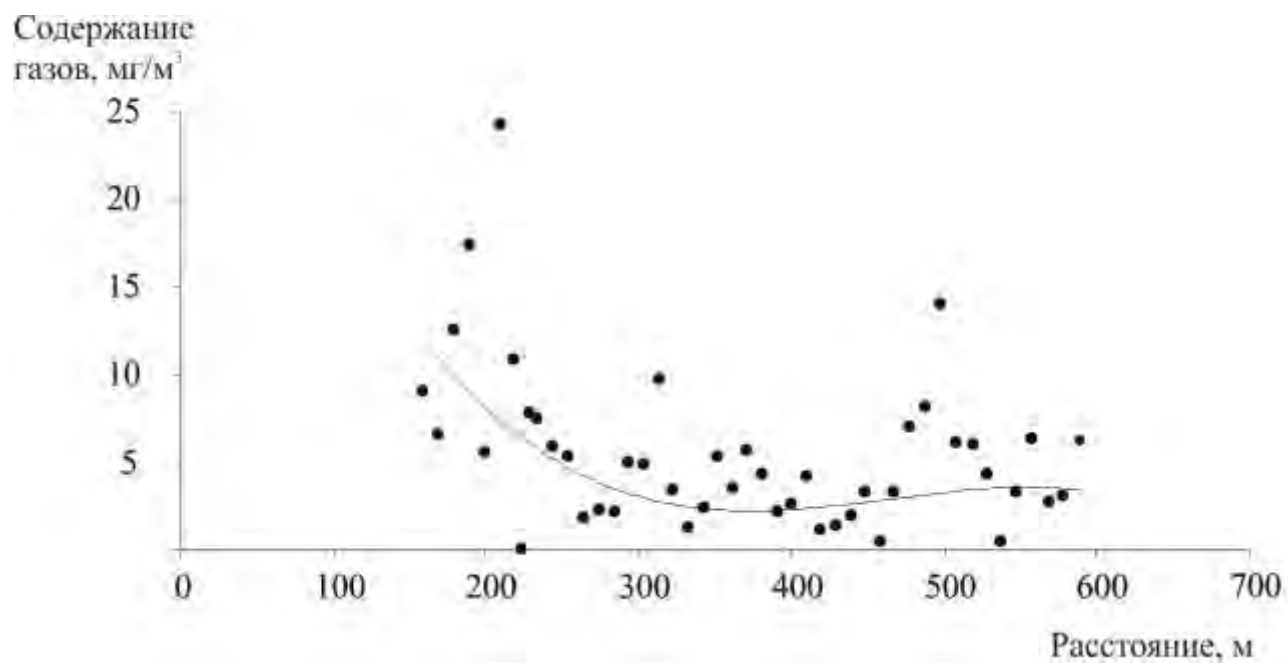


Рисунок 4-6 – Содержание летучих органических соединений в грунте плотины по результатам газовой съемки [Максимович и соавт., 2014]

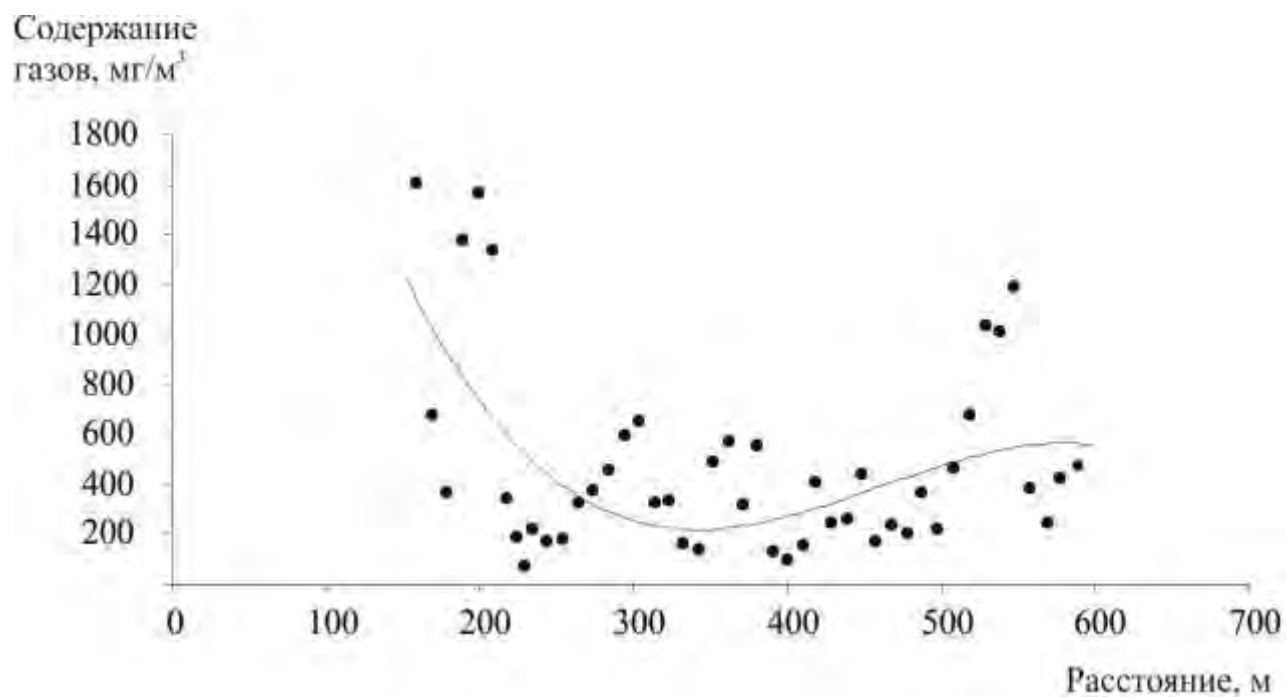


Рисунок 4-7 – Содержание углекислого газа в грунте плотины по результатам газовой съемки [Максимович и соавт., 2014]

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в районе исследований микробиологические процессы в зимний период протекают также достаточно интенсивно, о чем свидетельствуют показатели БПК₅. Однако, на наш взгляд, с точки зрения общей интенсивности микробиологических процессов в районе грунтовых плотин и совокупности факторов, способствующих развитию, относительно теплые периоды времени года являются наиболее опасными с точки зрения активизации нежелательных микробиологических процессов. Поэтому внесение веществ-ингибиторов микробиологических процессов целесообразно производить именно в теплые периоды года. Решение о начале обработки грунтового массива тела плотины веществом-ингибитором должно приниматься по результатам всестороннего анализа компонентов окружающей среды, с учетом оценки интенсивности микробиологических процессов и гидрохимических особенностей поверхностных и подземных вод.

Определение численности микроорганизмов. Для определения численности отдельных физиологических групп микроорганизмов в пробах грунта и воды из тела плотины использовали метод посева из предельных десятичных разведений на соответствующие селективные среды [Кузнецов, Дубинина, 1989].

Предельные десятичные разведения проб готовили в стерильном фосфатно-солевом буферном растворе для разведений следующего состава: NaCl – 8,5 г, KН₂РO₄ – 0,3 г, Na₂НРO₄ – 0,6 г, вода дистиллированная – 1 л [Герхардт, 1983]. Буферный раствор стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин.

Для приготовления первого десятичного разведения пробы грунта 1 г каждого грунта помещали в стерильные конические плоскодонные колбы объемом 250 см³, добавляли 100 мл стерильного буферного раствора для разведений и обрабатывали ультразвуком на установке Sonoplus HD 2070 с зондом MS 73 при частоте 20 кГц и мощности 50% в течение 2 мин на режиме № 5 (0,5 сек. работы, 0,5 сек. перерыв) для десорбции бактериальных клеток с частиц

грунта. Последующие десятичные разведения проб грунта и десятичные разведения водной пробы готовили согласно [Кузнецов, Дубинина, 1989].

Для гетеротрофных микроорганизмов использовали среду следующего состава: мясо-пептонный бульон сухой – 1,5 г, глюкоза – 1 г, вода дистиллированная – 1 л. Для аэробных гетеротрофных микроорганизмов среду разливали по 10 мл во флаконы объемом 25 см³, для анаэробных – по 20 мл во флакон. Флаконы со средами стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева среду для анаэробных гетеротрофных микроорганизмов во флаконе заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха. Флаконы инкубировали при комнатной температуре.

Для аммонифицирующих микроорганизмов использовали среду следующего состава: мясо-пептонный бульон сухой – 1,5 г, 20 мл индикатора, состоящего из 4 частей 0,1% водного раствора бромтимолового синего и 1 части 0,1% водного раствора нейтрального красного, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 20 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева среду заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха и инкубировали при комнатной температуре.

Для денитрифицирующих микроорганизмов использовали среду следующего состава: мясо-пептонный бульон сухой – 1,5 г, глюкоза – 1 г, KNO₃ – 2 г, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 20 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева среду заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха и инкубировали при комнатной температуре.

Для микроорганизмов-бродильщиков использовали среду следующего состава: глюкоза – 1 г, 20 мл индикатора, состоящего из 4 частей 0,1% водного раствора бромтимолового синего и 1 части 0,1% водного раствора нейтрального красного, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 20 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин.

После засева среду заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха и инкубировали при комнатной температуре.

Для микроорганизмов, восстанавливающих железо (III), использовали среду Бромфилда следующего состава: KH_2PO_4 – 0,5 г, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 1 г, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2 г, глюкоза – 1 г, мясо-пептонный бульон сухой – 0,3 г, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 20 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева во флаконы добавляли 1 мл 60% раствора FeCl_3 , среду заливали 2 мл стерильного вазелинового масла для ограничения доступа воздуха и инкубировали при комнатной температуре.

Для нитрифицирующих микроорганизмов использовали среду Сориано и Уокера следующего состава: NH_4Cl – 0,5 г, KH_2PO_4 – 0,2 г, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,04 г, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,04 г, FeCl_3 – 0,0005 г, 0,05% раствор фенолового красного – 1 мл, вода дистиллированная – 1 л. Среду разливали по 10 мл во флаконы объемом 25 см³ и стерилизовали автоклавированием при 105 °С в течение 20 мин. После засева флаконы инкубировали при комнатной температуре. Результаты исследований представлены в таблицах 4-3 и 4-4.

Определение газообразующей способности микроорганизмов грунта плотины. С точки зрения безопасной эксплуатации гидротехнического сооружения из всех видов активности микроорганизмов грунта плотины наибольший интерес представляет их газообразующая способность. Газообразующую способность микроорганизмов грунта определяли способом [Максимович, Хмурчик, 2016]. В конические плоскодонные колбы объемом 250 см³ помещали 100 г исследуемого грунта, добавляли 1 г глюкозы и заливали 150 мл дистиллированной воды. Содержимое колб перемешивали, колбы закрывали резиновыми пробками с подсоединенными к ним стеклянными манометрами и инкубировали при комнатной температуре, периодически снимая показания манометров. Опыты проводили в двукратной повторности. Характеристика исследованных проб грунта и полученные результаты представлены в таблице 4-5.

Таблица 4-3 – Результаты микробиологических исследований воды тела плотины [Оценка..., 2011]

Физиологическая группа микроорганизмов	Численность, кл/мл
Аэробные гетеротрофные микроорганизмы	$4,5 \cdot 10^3$
Аммонифицирующие микроорганизмы	$2,5 \cdot 10^2$
Нитрифицирующие микроорганизмы	Менее 2,5

Таблица 4-4 – Результаты микробиологических исследований грунтов тела и основания плотины [Оценка..., 2011]

Физиологическая группа микроорганизмов	Численность микроорганизмов, кл/г	
	песок коричневый влажный	песок серый водонасыщенный
Анаэробные гетеротрофные микроорганизмы	$2,75 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^5$
Аммонифицирующие микроорганизмы	$2,75 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^4$
Денитрифицирующие микроорганизмы	Не обнаружены	Не обнаружены
Микроорганизмы с бродильным типом обмена	$8,25 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^3$
Железовосстанавливающие микроорганизмы	$2,75 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^7$

Таблица 4-5 – Газообразование в пробах грунта тела плотины [Мониторинг..., 2017]

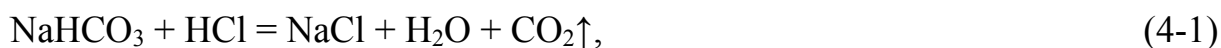
Место отбора пробы	Описание пробы грунта	Глубина отбора, м	Газообразование, мл/мин
1 – скважина-1 (у пьезометра 429)	песок коричневый влажный	2,0	0,015
2 – скважина-1 (у пьезометра 429)	песок коричневый влажный	2,5	0,014
3 – скважина-1 (у пьезометра 429)	песок серый водонасыщенный	4,5	0,018
4 – скважина-1 (у пьезометра 429)	суглинок темно-бурый заторфованный	7,5	0,012
5 – скважина-1 (у пьезометра 429)	суглинок заторфованный с серым (переход)	7,8	0,010
6 – скважина-1 (у пьезометра 429)	суглинок (супесь) серый	8,0	0,010
7 – скважина-1 (у пьезометра 429)	суглинок (глина) серый	14,8	0,003
8 – скважина-1 (у пьезометра 429)	суглинок (глина) серый	15,0	0,005
9 – скважина-2 (у контрольно-пропускного пункта)	песок коричневый	2,0	0,013
10 – скважина-2 (у контрольно-пропускного пункта)	песок коричневый	5,0	0,013
11 – скважина-2 (у контрольно-пропускного пункта)	суглинок бурый (серо-зеленый)	6,5	0,006
12 – скважина-2 (у контрольно-пропускного пункта)	суглинок (глина) серый	10,0	0,004

Газообразование в песчаном грунте было выше чем в глинистом, что может являться следствием того, что в песчаных грунтах обычно содержится большее количество микроорганизмов по сравнению с глинистыми [Kaiser, Bollag, 1990, Smith et al., 1986]. В водонасыщенном сером песчаном грунте газообразование было выше чем в коричневом песчаном грунте вследствие постоянного поступления органических веществ с фильтрующей водой.

Определение влияния концентрации органического вещества на газообразование в грунте. Используя метод накопительной культуры, определяли наличие в грунте жизнеспособных газообразующих анаэробных микроорганизмов. Для этого 400 г грунта естественной влажности помещали в стерильный флакон объемом 500 см³ и доливали доверху стерильным 0,06 М раствором глюкозы. Флакон герметично закрывали и инкубировали при комнатной температуре. На третьи сутки эксперимента наблюдали интенсивное газообразование и изменение окраски грунта с охристой на серую, на десятые сутки отмечено образование пузырьков газа. Газообразование продолжалось около двух недель.

Таким образом, песчаный грунт, содержит жизнеспособное анаэробное микробное сообщество, которое может активизироваться при попадании в благоприятные условия, например, в случае затопления грунта при повышении уровня воды в водохранилище.

Определение зависимости скорости газообразования в грунте от концентрации поступившего органического вещества проводили, используя описанный способ [Максимович, Хмурчик, 2016]. В конические плоскодонные колбы объемом 250 см³ помещали 100 г грунта естественной влажности, добавляли 150 мл стерильной дистиллированной воды и в течение 5 мин продували через нее углекислый газ для вытеснения воздуха [Кузнецов, Дубинина, 1989]. Углекислый газ получали в соответствии с реакцией:



для чего в газогенерирующий сосуд помещали 100 г гидрокарбоната натрия, к которому добавляли 100 мл 0,1 н раствора соляной кислоты и закрывали пробкой

с газоотводной трубкой. После продувки в колбы добавляли определенное количество глюкозы и закрывали их пробками с подсоединенными стеклянными манометрами. В опытах использовали следующие количества глюкозы: 1 г, 0,9 г, 0,8 г, 0,65 г, 0,5 г, 0,35 г, 0,25 г, 0,1 г и 0,05 г, - из чего получались 37 мМ, 33 мМ, 30 мМ, 24 мМ, 19 мМ, 13 мМ, 10 мМ, 4 мМ и 2 мМ растворы глюкозы. Каждый опыт проводили в трехкратной повторности. Колбы инкубировали при комнатной температуре до 13 сут, ежедневно измеряя скорость газообразования по изменению объема газовой фазы в колбе за единицу времени.

Использованный в эксперименте раствор с наименьшей концентрацией глюкозы (2 мМ) содержит 130 мг органического углерода ($C_{орг}$) в 1 дм³. Анализ проб воды, отобранных из дренажных колодцев в 2011 г., показал, что для них было характерно повышенное содержание органического углерода ($C_{орг}$) – 108–122 мг/дм³. Так как часть органического вещества была использована бактериальным сообществом в процессах газообразования, то содержание органического углерода, поступившего в тело плотины, было выше указанных 108–122 мг/дм³. Следовательно, использовать в эксперименте растворы с меньшим содержанием глюкозы не имеет практического смысла. В 2016 г. содержание органического вещества в пробах воды, фильтрующейся через тело плотины, снизилось примерно в 100 раз. Однако при этом в почвенном воздухе земляной плотины в десятки раз возросло содержание метана, углеводов и углекислого газа. Таким образом, в водах тела плотины мы обнаруживаем лишь остаточное содержание водорастворенного органического вещества, т.е. уже после его микробного преобразования.

Результаты эксперимента показали зависимость скорости газообразования в грунте от концентрации поступившего органического вещества (рисунок 4-8). При этом даже наименьшее из использованных количество глюкозы (2 мМ раствор) вызывает газообразование в исследуемом грунте, максимальная скорость которого составляет 0,006 см³·мин⁻¹. Максимальная скорость газообразования наблюдалась при использовании раствора глюкозы с концентрацией 37 мМ и составляла 0,018 см³·мин⁻¹. Период интенсивного газообразования во всех

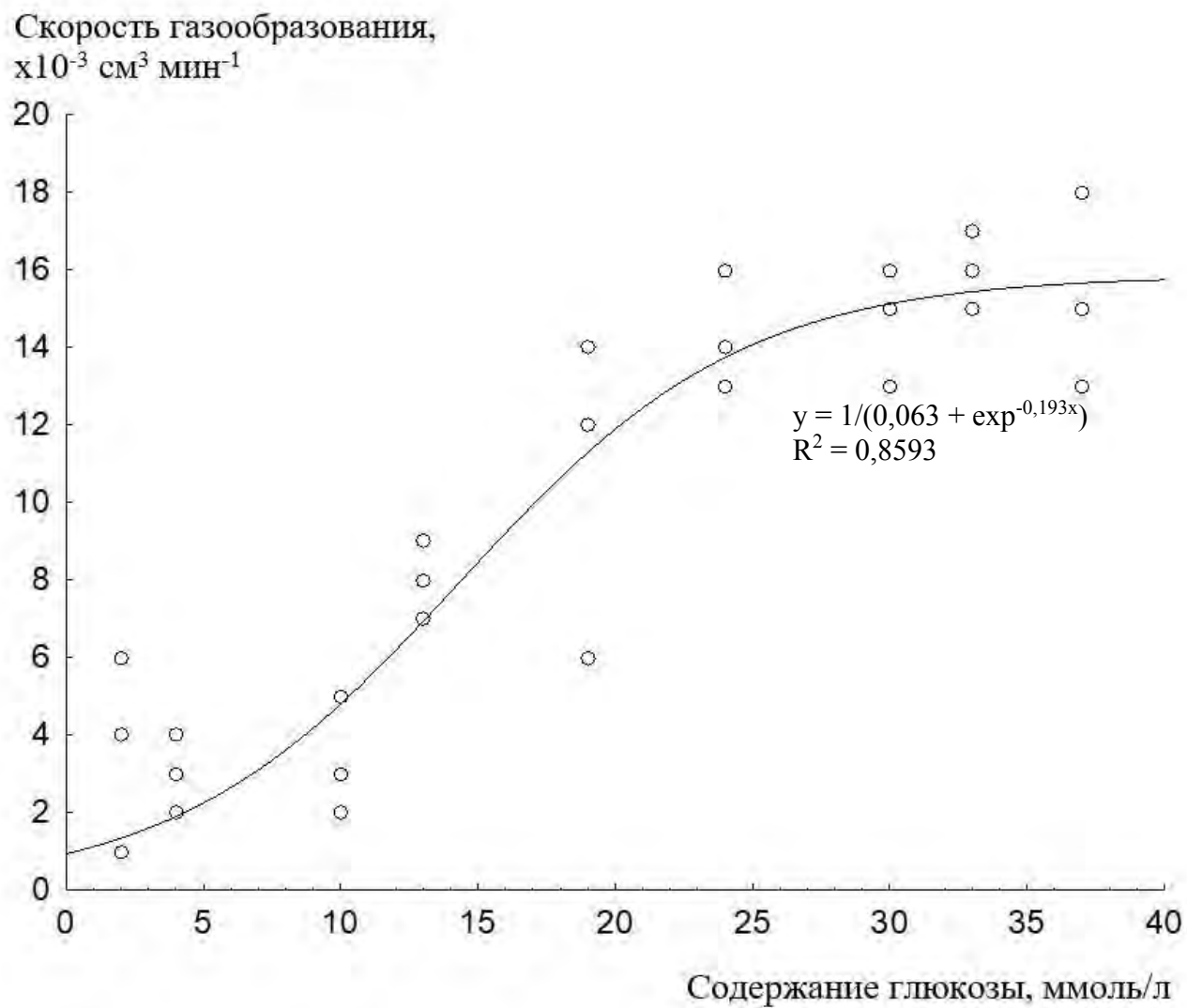


Рисунок 4-8 – Зависимость скорости газообразования в грунте от концентрации органического вещества [Мониторинг..., 2017]

экспериментах составлял около 3 суток, после чего наблюдалось постепенное снижение интенсивности газообразования до значений $0,001\text{--}0,002\text{ см}^3\cdot\text{мин}^{-1}$. Общая продолжительность газообразования для растворов глюкозы с концентрацией от 37 до 19 мМ составила 13 сут, для растворов глюкозы с концентрацией от 13 до 4 мМ – 9 сут, для для растворов глюкозы с концентрацией 2 мМ – 5 сут [Мониторинг..., 2017].

Определение влияния концентрации органического вещества на свойства грунтов плотины и ее устойчивость. В лабораторных условиях исследовали влияние содержания органического вещества в поровых водах на прочностные свойства грунтов тела и основания плотины. Объектами исследования были песок серый водонасыщенный и суглинок серый, отобранные в ходе буровых работ.

Образцы грунта в кольцах для сдвиговых испытаний (по ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости») помещали в эксикаторы, заполненные растворами глюкозы с концентрацией 0,08, 0,09, 0,11, 0,12, 0,16 и 0,18 г/л. Использовали по два образца каждого грунта на раствор. Образцы выдерживали в растворах в течение 20 сут. при комнатной температуре, после чего проводили испытания в соответствии с ГОСТ 12248-2010 [Мониторинг..., 2017].

Результаты лабораторных исследований были использованы для расчета коэффициента запаса (устойчивости) плотины при разном содержании органического вещества в поровых водах грунтов плотины. Оценка устойчивости грунтовой плотины проводилась в программе GeoStudio 2007 (модуль SLOPE/W) по методу Моргенштерн-Прайса, реализующему гипотезу круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Была использована схема строения плотины, допускающая, что микробные процессы происходят равномерно по всему грунту ниже уровня фильтрующейся воды, одинаково изменяя свойства грунта по всей толще, а насыпной грунт выше пьезометрической линии свои свойства не меняет. Расчеты производились по профилю с точно известными уклонами каждого элемента плотины – на поперечнике по ПК 19+50. При расчетах не учитывалось:

- О наличие цементных плит в верхнем бьефе и участков каменных отсыпок на нижнем;

- О укрепление верхних слоев плотины за счет посева трав;

- О наличие перехватывающих дренажей, улавливающих часть воды и изменяющие тем самым конфигурацию пьезометрической поверхности.

Результаты лабораторных исследований и выполненные расчеты показали, что повышение содержания в грунте органического вещества приводит к снижению величин угла внутреннего трения и силы сцепления, и, соответственно, снижению значения коэффициента запаса (устойчивости) плотины (таблица 4-6, рисунок 4-9). При этом повышение в фильтрующейся через плотину речной воде содержания органического вещества более 0,12 г/л приводит к снижению значения коэффициента запаса (устойчивости) плотины до единицы.

Выбор группы микроорганизмов для активирования. Результаты определения численности групп микроорганизмов показали, что в водонасыщенном грунте плотины обнаруживались анаэробные гетеротрофные микроорганизмы в количестве до $3,5 \times 10^5$ кл/г, аммонифицирующие микроорганизмы – до $6,3 \times 10^4$ кл/г, микроорганизмы с метаболизмом бродильного типа – до $3,5 \times 10^3$ кл/г, железовосстанавливающие микроорганизмы – до $3,5 \times 10^7$ кл/г (таблица 4-4). Полевые исследования показали наличие в грунте также жизнеспособных газообразующих анаэробных микроорганизмов – метаногенов, согласно данным результатов газовой съемки [Оценка..., 2011].

Процессы жизнедеятельности этих групп микроорганизмов вызывают следующие изменения состава газовой компоненты заводняемого грунта (таблица 4-7).

Из обнаруживаемых в грунте микроорганизмов наиболее подходящими для наших целей оказываются железовосстанавливающие микроорганизмы. Восстановление соединений трехвалентного железа является термодинамически более выгодным для микробного сообщества чем метаногенез [Заварзин, Колотилова, 2001, Achtnich et al., 1995, Chidthaisong, Conrad, 2000, Lovley, Phillips, 1987, Roden, Wetzel, 2003]. В ходе процесса не образуются токсичные и/или

Таблица 4-6 – Влияние концентрации органического вещества на свойства грунтов [Мониторинг..., 2017]

Содержание органического вещества в поровых водах грунта, г/л	Свойства грунта		Коэффициент запаса (устойчивости) плотины
	песок	суглинок	
0,08	$\rho = 1,83 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 35^\circ$, $C = 0 \text{ кПа}$	$\rho = 1,88 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 17^\circ$, $C = 44 \text{ кПа}$	2,8
0,09	$\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 28^\circ$, $C = 0 \text{ кПа}$	$\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 14^\circ$, $C = 35 \text{ кПа}$	2,3
0,11	$\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 27^\circ$, $C = 0 \text{ кПа}$	$\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 13^\circ$, $C = 35 \text{ кПа}$	2,2
0,12	$\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 14^\circ$, $C = 0 \text{ кПа}$	$\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 7^\circ$, $C = 17,6 \text{ кПа}$	1,2
0,16	$\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 13^\circ$, $C = 0 \text{ кПа}$	$\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 7^\circ$, $C = 17,6 \text{ кПа}$	1
0,18	$\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 12^\circ$, $C = 0 \text{ кПа}$	$\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 6^\circ$, $C = 15,4 \text{ кПа}$	1

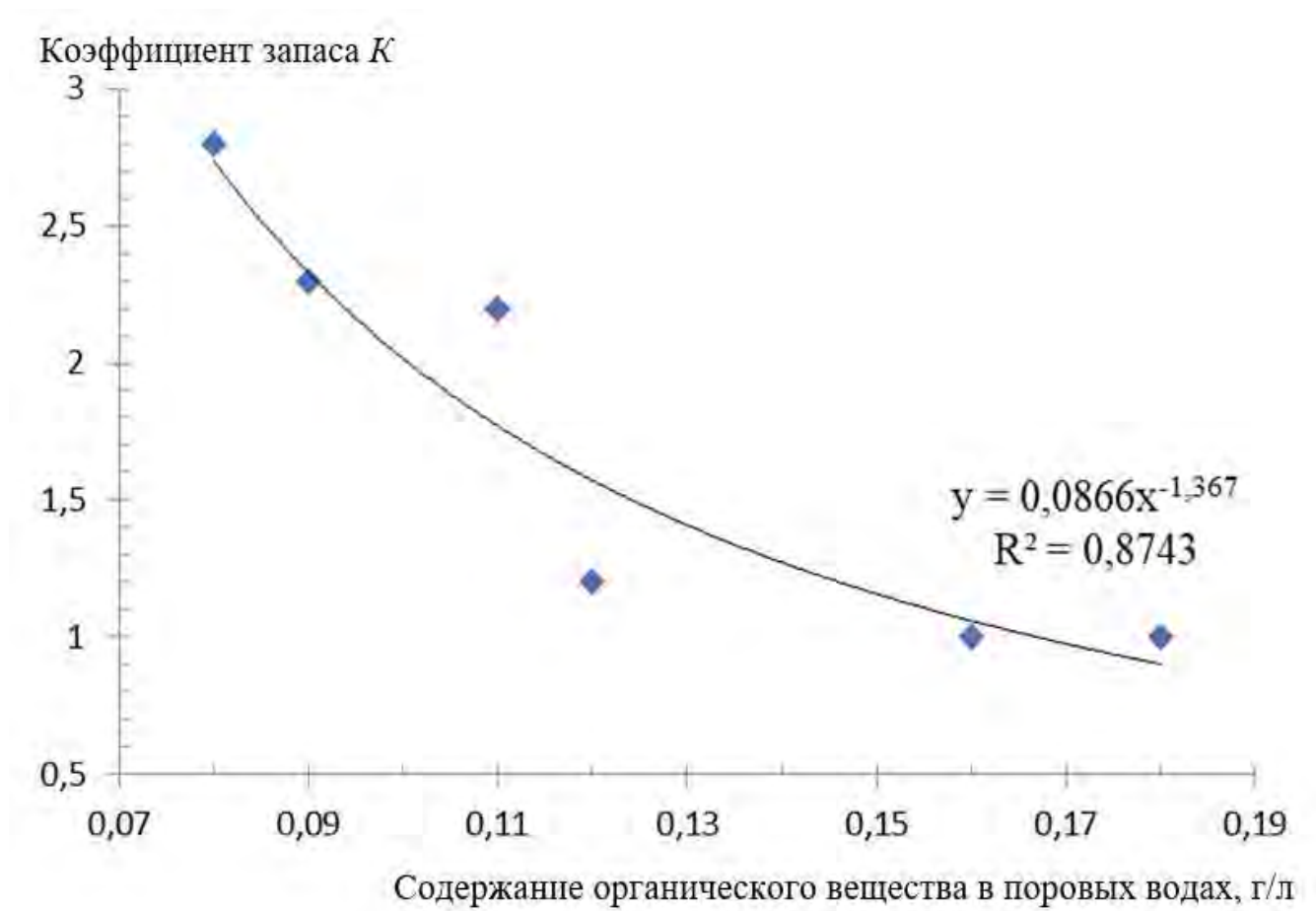


Рисунок 4-9 – Влияние концентрации органического вещества на коэффициент запаса (устойчивость) земляной плотины [Мониторинг..., 2017]

Таблица 4-7 – Влияние микроорганизмов обводненного грунта на его свойства

Изменение свойств газовой компоненты	Группа микроорганизмов	Процессы в газовой компоненте грунта
Не изменяется	Анаэробные гетеротрофные микроорганизмы	Нет
Не изменяется	Аммонифицирующие микроорганизмы	Нет
Не изменяется	Микроорганизмы с бродильным типом обмена	Нет
Предотвращение образования газа	Железовосстанавливающие микроорганизмы	Прекращение образования метана
Рост газоносности, рост газосодержания	Метанобразующие микроорганизмы	Рост содержания метана

газообразные продукты. Процесс восстановления железа способен полностью подавить метаногенез и обнаруживается во многих природных средах, то есть естественен для окружающей среды. Образующиеся в результате процесса ионы двухвалентного железа в условиях окислительной обстановки и нейтральной среды легко переходят в трехвалентное состояние и выпадают в осадок в виде гидроокислов. Для протекания данного процесса необходимо наличие в среде ионов трехвалентного железа, которые можно внести в виде водорастворимых солей. Поскольку для железа также существуют нормативы по его содержанию в воде, то необходимо подобрать такие его минимально возможные концентрации, которые были бы достаточны для подавления метаногенеза.

4.2.2.3. Разработка технологии активирования микроорганизмов

В ходе лабораторных исследований использовали раствор, содержащий в качестве источника углерода и энергии для микроорганизмов 0,3 г/л глюкозы (120 мг/л в пересчете на $C_{орг}$), что соответствовало содержанию органического углерода, обнаруженному в пробах речной воды. Была подобрана оптимальная концентрация хлорида трехвалентного железа, $FeCl_3$, необходимая для активирования жизнедеятельности железовосстанавливающих микроорганизмов и прекращения образования в грунте плотности метана.

Подбор минимальной концентрации хлорида трехвалентного железа $FeCl_3$, необходимой для прекращения образования в грунте плотности метана, проводили способом [Хмурчик, Максимович, 2015]. В конические плоскодонные колбы объемом 250 см³ помещали 200 г грунта, добавляли 100 мл раствора, содержащего глюкозу в концентрации 0,3 г/л, перемешивали и закрывали резиновыми пробками с подсоединенными к ним стеклянными манометрами. Колбы инкубировали при комнатной температуре, периодически снимая показания манометров, дожидаясь пиковых количеств выделяющегося газа, что

происходило на вторые сутки эксперимента, после чего в колбы вносился 0,5% раствор FeCl_3 для достижения в колбах следующих количеств FeCl_3 : 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25 и 0,1 мг. Эксперимент проводился в двукратной повторности, то есть использовали по 2 колбы с газообразующим грунтом на каждую концентрацию FeCl_3 . Продолжая снимать показания манометров, следили за изменением в колбах процесса образования газа.

Все использованные концентрации FeCl_3 вызывали остановку процесса газообразования в грунте в течение первого часа. Однако, при концентрации FeCl_3 0,1 мг данный эффект сохранялся не более 1 суток, в то время как остальные использованные концентрации FeCl_3 сохраняли подавляющее действие на процесс газообразования в течение 7 суток эксперимента. Таким образом, минимальной концентрацией FeCl_3 , необходимой для подавления газообразования в грунте, является 0,25 мг на 100 мл раствора или 2,5 мг/л (0,86 мг/л в пересчете на железо) [Мониторинг..., 2017].

Следует отметить, что зарубежные исследователи для запуска процесса бактериальной железоредукции и ингибирования процесса метаногенеза используют трехвалентное железо в концентрациях от 0,1 г/л [Arnold et al., 1990] до 14 г/л [Lovley, Phillips 1986]. Предлагаемая к применению концентрация железа примерно в 10 раз превышает ПДК для питьевой воды [СанПиН, 2001], однако, как указывалось выше, образующиеся в результате железоредукции ионы двухвалентного железа легко окисляются в аэробной обстановке, переходят в нерастворимое состояние и выпадают в осадок, а не подвергшееся восстановлению трехвалентное железо имеет тенденцию к образованию комплексных соединений и адсорбции на минеральных частицах. Такие процессы интенсивного образования осадка соединений железа наблюдались в 2013 г. при выходе дренажных вод на дневную поверхность [Мониторинг..., 2017]. Таким образом, в результате применения реагента превышение ПДК по железу, по нашему мнению, не будет столь значительным.

Влияние раствора хлорида железа (III) на прочностные свойства грунтов тела плотины. Изменение микроструктуры высокодисперсных грунтов

в зависимости от состава обменных катионов связано с возникновением и распадом микроагрегатов. Это может сказаться при искусственном насыщении грунта каким-либо одним катионом в растворах с крайне высокой его концентрацией. Одновалентные ионы (особенно имеющие малый ионный радиус и большие гидратные оболочки – Li^+ , Na^+) резко увеличивают дисперсность грунта, а двух- и трехвалентные катионы (Ca^{2+} , Fe^{3+}) снижают её [Грунтоведение, 1971].

Влияние обменных катионов на содержание в грунтах связанной воды, характер микроструктуры и микротекстуры и свойства грунтов значительно больше в том случае, когда в глинистой фракции содержатся минералы, имеющие большую емкость катионного обмена (например, монтмориллонит); при содержании в глинистой фракции минералов, имеющих малую емкость катионного обмена (например, каолинит и гидрослюды) роль обменных катионов в указанном отношении становится второстепенной. Катионы Fe^{3+} имеют наибольшую способность к замещению других ионов в связи с достаточно большим ионным радиусом. Однако ион, который по своему размеру лучше подходит к кристаллической решетке минерала, легче замещает ионы с менее подходящими размерами [Трофимов и соавт., 2005].

Объектом обработки веществом-ингибитором микробиологических процессов являются грунты тела плотины – пески средние и мелкозернистые, т.е. грунты с относительно низким содержанием глинистой фракции. Поэтому значительного воздействия при внесении вещества-ингибитора в преимущественно песчаные грунты тела плотины не прогнозируется. Также стоит учесть факт того, что рекомендуемое количество вещества-ингибитора во вносимом растворе является относительно невысоким при сравнении с фоновыми показателями (на отдельных участках гидротехнического сооружения было отмечено содержание в подземных водах ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$ более 30 мг/дм³).

Для определения потенциального воздействия вещества-ингибитора (FeCl_3) микробиологических процессов на грунты тела плотины были проведены экспериментальные исследования, имитирующие обработку грунтового массива.

Концентрация FeCl_3 во вносимом растворе была увеличена в 2 раза по сравнению с рекомендуемой в разработанной методике (с 5 мг/дм^3 до 10 мг/дм^3) для более показательной оценки возможного воздействия хлористого железа на свойства грунтов тела плотины.

В проведенном эксперименте в первую очередь представляло интерес потенциальное изменение прочностных свойств (силы сцепления, угла внутреннего трения и др.) песчаных грунтов, т.к. эти показатели напрямую влияют на устойчивость откосов и, следовательно, безопасную эксплуатацию грунтовых плотин. Песчаные грунты доводились до полного водонасыщения тремя различными растворами:

- речной водой с концентрацией FeCl_3 – 0 мг/дм^3 (контроль);
- речной водой с концентрацией FeCl_3 – 10 мг/дм^3 ;
- дистиллированной водой с концентрацией FeCl_3 – 10 мг/дм^3 .

Обработка грунтов проводилась в течение 7 суток, после чего образцы передавались в грунтовую лабораторию для последующих физико-механических испытаний. К определяемым показателям относились: сила сцепления, угол внутреннего трения, стандартные физические свойства. Результаты испытаний представлены в таблице 4-8.

По результатам экспериментальных исследований было установлено, что внесение увеличенной в 2 раза концентрации (по сравнению с предлагаемой к внесению в естественных условиях) вещества-ингибитора в грунты тела плотины не оказывает существенного негативного влияния на прочностные свойства грунтов. Наиболее приближенными к естественным условиям являются эксперименты с образцами 3 и 4, т.к. в основе раствора используется речная вода. Так, сила сцепления грунтов после обработки раствором FeCl_3 на основе речной воды увеличилась с $0,001\text{--}0,004 \text{ МПа}$ до $0,003\text{--}0,007 \text{ МПа}$, а угол внутреннего трения увеличился с $40\text{--}41$ град. до $46\text{--}57$ град. [Мониторинг..., 2017].

Стоит отметить, что в естественных условиях при внесении в грунтовый массив веществ-ингибиторов ожидается еще меньшее воздействие, т.к. рекомендуемая для внесения концентрация FeCl_3 составляет половину от

Таблица 4-8 – Прочностные и физические свойства грунтов, обработанных раствором хлорида железа (III)

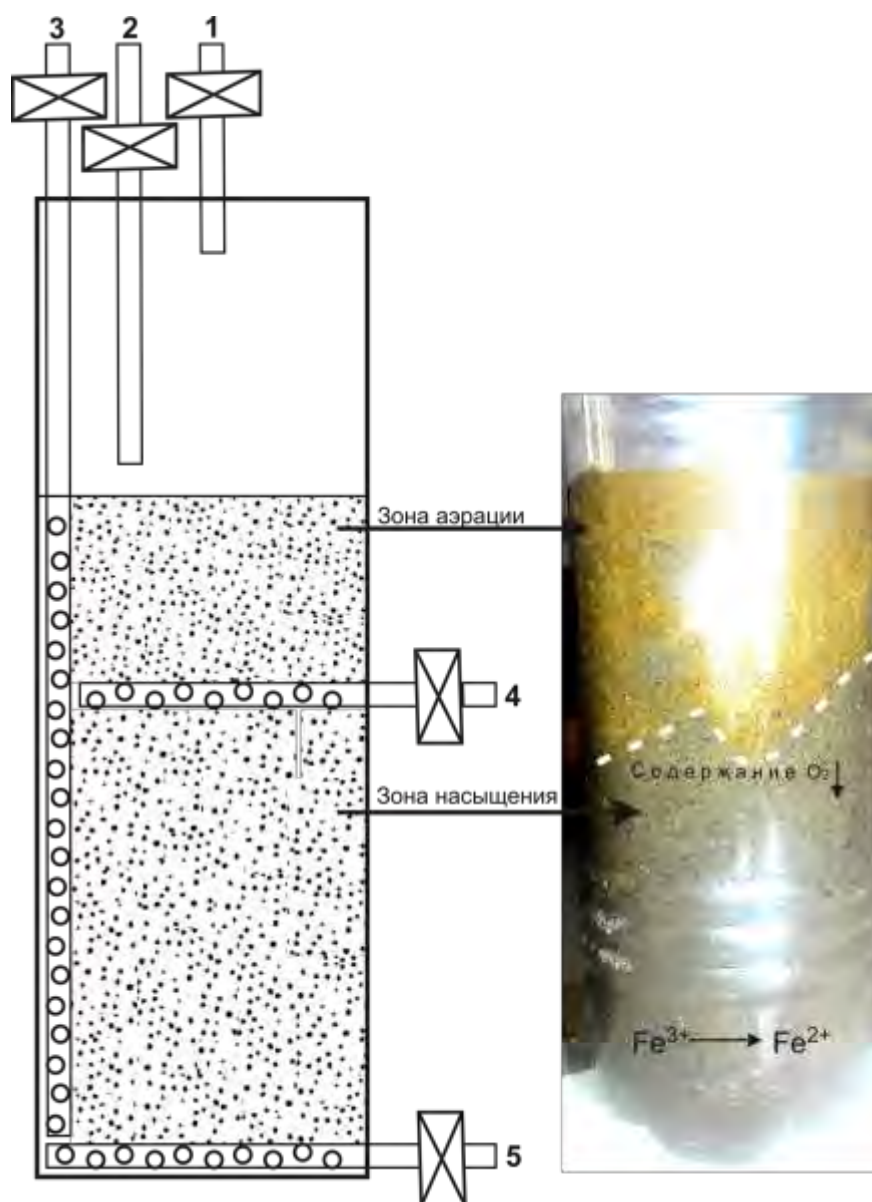
[Мониторинг..., 2017]

Образец грунта	Тип обработки	Влажность естественная	Коэффициент водонасыщения	Плотность, г/см ³			Коэффициент пористости	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
				частиц грунта	грунта природная	сухого грунта			
1–Песок средней крупности неоднородный	Вода речная	0,197	1,020	2,64	2,09	1,75	0,509	0,001	40
2–Песок средней крупности неоднородный		0,225	0,970	2,64	2,01	1,64	0,610	0,004	41
3–Песок средней крупности неоднородный	Вода речная + FeCl ₃ , 10 мг/л	0,243	0,970	2,64	1,98	1,59	0,660	0,007	46
4–Песок средней крупности неоднородный		0,249	1,060	2,64	2,04	1,63	0,620	0,003	57
5–Песок средней крупности неоднородный	Вода дист. + FeCl ₃ , 10 мг/л	0,247	1,050	2,64	2,03	1,63	0,620	0,008	59
6–Песок средней крупности неоднородный		0,253	1,060	2,64	2,03	1,62	0,630	0,001	60

использованной в лабораторном эксперименте, кроме того вносимое вещество будет подвергаться интенсивному разбавлению фильтрующейся через тело плотины речной водой.

4.2.2.4. Разработка технологии формирования состава и свойств газовой компоненты грунта

Был проведен модельный эксперимент по подавлению газообразования в грунте плотины с использованием установки, имитирующей земляную плотину (рисунок 4-10) [Мониторинг..., 2017]. В пластиковую емкость цилиндрической формы объемом 1,5 дм³ засыпали 1 л грунта: нижний слой грунта объемом 300 мл состоял из 80 мл песка фракции 2,0–0,5 мм, 120 мл песка фракции 0,5–0,25 мм и 100 мл гравия фракции 2,0–3,5 мм; верхний слой грунта объемом 700 мл состоял из 560 мл песка фракции 0,5–0,25 мм и 140 мл гравия фракции 2,0–3,5 мм, что соответствовало строению плотины в уменьшенном масштабе. Перед засыпкой каждый слой был тщательно перемешан, между собой слои не смешивали. С помощью трубок в установке была организована система для подачи (позиции 2 и 3) и отведения (позиции 4 и 5) растворов и отбора проб газа (позиция 1). Раствор, содержащий 0,3 г/л глюкозы, пропускали через установку со скоростью, близкой к средней скорости фильтрации речной воды через плотину. Для стабилизации химического состава водной фазы в установке и установления ее равновесия с твердой фазой грунта в результате развития глеевой анаэробной обстановки через установку было пропущено 4 л данного раствора. В первые сутки эксперимента в грунте установки наблюдалось образование микропузырьков газа. Через 2 недели грунт, находящийся ниже трубки аварийного перелива (позиция 4) полностью приобрел серую окраску, свидетельствующую о создании в нем глеевой геохимической обстановки, в то время как грунт,



1 – трубка для отбора проб газа, 2 – трубка для подачи раствора, 3 – трубка для подачи вещества ингибитора, 4 – трубка аварийного перелива, 5 – трубка для отведения раствора; пунктирной линией показана условная граница между зоной аэрации и зоной насыщения.

Рисунок 4-10 – Схема экспериментальной установки для моделирования микробиологических процессов в теле плотины [Мониторинг..., 2017]

находящийся выше трубки аварийного перелива, сохранил свою первоначальную окраску. Раствор на выходе из установки (позиция 5) содержал ионы Fe^{2+} , выносимые из заводненного грунта, которые окислялись на воздухе и выпадали в виде осадка ржавого цвета в приемной емкости.

После стабилизации работы установки в эксперименте использовали раствор, содержащий глюкозу в концентрации 1 г/л, чтобы скорость генерации газа в грунте была максимально возможной – данная концентрация глюкозы примерно в 10 раз превышала содержание водорастворенного органического вещества в пробах воды из водохранилища, отобранных в 2013 г. [Мониторинг..., 2017] и имитировала залповый выброс органических веществ в воду реки. Через установку было пропущено 5 л раствора, после чего был произведен анализ газовой фазы в установке, в которой было обнаружено 1,3% об. углекислого газа и 0,45% об. метана. Через установку было пропущено еще 14 л раствора с содержанием глюкозы 1 г/л. Затем в установке активировали жизнедеятельность железовосстанавливающих микроорганизмов раствором, содержащим 1 г/л глюкозы и 5 мг/л FeCl_3 . Произведенный химический анализ газовой фазы установки показал полное отсутствие в ней метана, а содержание углекислого газа было около 0,1–0,2% об. [Мониторинг..., 2017].

Таким образом, активирование в грунте жизнедеятельности железовосстанавливающих микроорганизмов приводит к изменению состава газовой компоненты грунта. По результатам проведенных исследований получено 3 патента на изобретения (Патенты РФ №№ 2565409, 2592268, 2697272), а также разработан регламент работ, необходимых для подавления газообразования в грунте в случаях повышенного поступления органических соединений в воды реки в результате аварийных сбросов или утечек, переданный организации, осуществляющей эксплуатацию и надзор за состоянием плотины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроорганизмы, являясь неотъемлемой частью биотической компоненты грунтов и будучи распространенными в грунтах разного состава и генезиса, осуществляя свои метаболические потребности, изменяют состав и свойства отдельных компонент грунта и грунта в целом. В результате многолетних исследований воздействия микроорганизмов на грунты автором разработана методология формирования заданных состава и свойств грунта биотехнологическими методами с использованием населяющих грунт микроорганизмов. Данная методология заключается в последовательном выполнении следующих этапов работ:

- оценка текущего состояния грунта;
- оценка микробной составляющей грунта;
- разработка технологии активирования микроорганизмов грунта;
- разработка технологии формирования состава и свойств грунта.

Исследования, проведенные в соответствии с разработанной методологией, позволили снизить фильтрационные характеристики песчаного грунта активированием жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов, способствующей отложению кальцита в поровом пространстве грунта.

Изменение состава и свойств жидкой компоненты грунта породного отвала угледобывающей промышленности было достигнуто активированием жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих микроорганизмов, что приводило к снижению кислотности и ионной силы порового раствора.

Прекращение микробиологического процесса образования метана в теле земляной плотины в соответствии с разработанной методологией было достигнуто активированием жизнедеятельности железовосстанавливающих микроорганизмов, которые успешно конкурировали с метанобразующими

микроорганизмами за органические соединения, подавляя тем самым их жизнедеятельность и, соответственно, газообразование.

На основании выявленных закономерностей изменения состава твердой, жидкой и газовой компонент грунта под действием процессов жизнедеятельности микроорганизмов разработаны биотехнологические методы формирования заданных свойств грунтов, которые нашли отражение в публикациях и патентах на изобретения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев, П.И. Об использовании гетеротрофных бактерий при обогащении алюминиевых руд / П.И. Андреев, Р.А.Шавло, Г.И. Каравайко, С.И. Полькин, Н.М. Анищенко, Р.Д. Морозова // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов: Сб. науч. тр. / ред. М.В. Иванов. – Пущино: Изд-во НЦБИ АН СССР, 1976. – С. 126-131.

Баев, А.А. Новые направления биотехнологии / А.А. Баев // Биотехнология. – 1985, – № 2. – С. 8-14.

Баев, А.А. Биотехнология – союз науки и производства / А.А. Баев., В.А. Быков – М.: Советская Россия, 1987. – 128 с.

База данных химического анализа проб подземных и поверхностных вод на территории Кизеловского угольного бассейна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kub.maps.psu.ru>

Баньковская, В.М. Геохимические изменения природной среды в районах размещения отвалов угледобывающей промышленности / В.М. Баньковская, Н.Г. Максимович // География и природные ресурсы. – 1989. – № 2. – С. 42-45.

Барташевич, О.В. Нефтегазопроисковая битуминология / О.В. Барташевич. – М.: Недра, 1984. – 244 с.

Беккер, М.Е. Введение в биотехнологию / М.Е. Беккер. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 231 с.

Беккер, М.Е. Использование микробной биотехнологии в кормопроизводстве и утилизации отходов // М.Е. Беккер // Биотехнология. – 1985. – № 6. – С. 14-24.

Беляев, С.С. Геохимическая деятельность метанобразующих бактерий / С.С. Беляев // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов: Сб. науч. тр. / ред. М.В. Иванов. – Пущино: Изд-во НЦБИ АН СССР, 1976. – С. 139-152.

Бердичевская, М.В. Экология углеводородоокисляющих бактерий нефтяных пластов Пермского Прикамья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / Бердичевская Марина Владимировна. – М., 1983. – 24 с.

Берестовская, Ю.Ю. Процессы образования и окисления метана в почвах заполярной тундры России / Берестовская Ю.Ю., И.И. Русанов, Л.В. Васильева, Н.В. Пименов // Микробиология. – 2005. – Том 74. – № 2. – С. 261-270.

Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов/ ред. Л.П. Рихванов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 437 с.

Биотехнология. Принципы и применение / ред. И. Хиггинс, Д. Бест, Дж. Джонс. – М.: Мир, 1988. – 480 с.

Блинов, Ю.М. Патент RU 96104648. Способ цементации слабых грунтов / Ю.М. Блинов, И.М. Кузнецова, М.В. Попов. – 1996.

Болотина, И.Н. Физико-химические явления с участием биотического компонента / И.Н. Болотина // Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. – М.: Недра, 1985. – С. 65-70.

Болотина, И.Н. О возможности техногенных биогеохимических явлений при силикатизации гипсоносных пород / И.Н. Болотина, С.Д. Воронкевич, Н.Г. Максимович // Вестник Московского университета. – 1986. – Серия 4. Геология. – № 4. – С. 49-53.

Болотина, И.Н. Изучение роли микроорганизмов подземных вод при химическом уплотнении гипсоносных пород основания плотины // И.Н. Болотина, Н.Г. Максимович // Координация исследований на водохранилищах Камского каскада для разработки мероприятий по улучшению экологических условий в водоемах и на прилегающих территориях: Сб. докл. науч.-практ. конф., г. Пермь, 1984 г. / – Пермь, 1984. – С. 44-45.

Болотина, И.Н. Микробиологические исследования в инженерной геологии / И.Н. Болотина, Е.М. Сергеев // Инженерная геология. – 1987. – № 5. – С. 3-17.

Боряев, Ф.И. Из опыта эксплуатации Камской ГЭС // Ф.И. Боряев, П.Г. Голубниченко, В.С. Южаков. // Гидротехническое строительство. – 1970. – № 11. – С. 5-9.

Вернадский, В.И. Проблемы биогеохимии / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1980. – 320 с.

Виноградский, С.Н. Микробиология почвы / С.Н. Виноградский – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 792 с.

Воронкевич, С.Д. Основы технической мелиорации грунтов / С.Д. Воронкевич – М.: Научный мир, 2005. – 504 с.

Воронкевич, С.Д. Инженерная геохимия с основами геохимии техногенеза / С.Д. Воронкевич – М.: Изд-во «Академическая наука» – Геомаркетинг, 2011. – 480 с.

Воронкевич, С.Д. Техническая мелиорация пород / С.Д. Воронкевич, Л.А. Евдокимова, Р.И. Злочевская, Л.В. Гончарова, Е.Н. Огородникова, В.И. Сергеев – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 342 с.

Высоцкий, И.В. Основы геологии природного газа / И.В. Высоцкий. – М.: Гостоптехиздат, 1954. – 384 с.

Гальченко, В.Ф. Метанотрофные бактерии / В.Ф. Гальченко. – М.: ГЕОС, 2001. – 500 с.

Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР / ред. Н.И. Погребнов, А.В.Тяжнов, Н.В. Шабаров. – М.: Недра, 1978. – Том 12. – 259 с.

Геотермические методы исследований в гидрогеологии. – М.: Недра, 1979. – 286 с.

Геоэкологическая геоинформационная система Кизеловского угольного бассейна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kub.maps.psu.ru>

Герхардт, Ф. Методы общей бактериологии: в 3 т. / Ф. Герхардт. – М.: Мир, 1983. – 1 т. – 536 с.

Гидрогеологические условия формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений Волго-Уральской области. – М.: Недра, 1973. – 280 с.

Гольденберг, А.М. Принципы использования микроорганизмов для ограничения притока вод в нефтяные скважины // А.М. Гольденберг, Е.И. Квасников // Экологическая и геохимическая деятельность микроорганизмов: Сб. докл. Всесоюз. конф., г. Пущино-на-Оке, 1974 г. / – Пущино-на-Оке: Изд-во ИБФМ АН СССР, 1974. – С. 46.

Горная энциклопедия: в 5 т. / ред. Е.А. Козловский. – М.: Советская энциклопедия, 1985. – 2 т. – 575 с.

ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Введ. 01.01.2012.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Введ. 01.07.2015.

ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – Введ. 01.01.2021.

ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Введ. 01.04.2016.

Готтшалк, Г. Метаболизм бактерий / Г. Готтшалк. – М.: Мир, 1982. – 310 с.

Грунтоведение / ред. Е.М. Сергеев. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 295 с.

Гусев М.В. Микробиология / М.В. Гусев, Л.А. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 448 с.

Дашко, Р.Э. Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия // Р.Э. Дашко // Сергеевские чтения. Вып. 2. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии: Сб. науч. тр., 23-24 марта 2000 г. / – М.: ГЕОС, 2000, – С. 72-78.

Дашко, Р.Э. Проблемы геоэкологической безопасности освоения и использования подземного пространства Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко // Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. – 2002. – № 57.

Дашко, Р.Э. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, П.В. Котюков, А.В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – № 13. – С. 25-71.

Дашко, Р.Э. Геотехника и подземная микробиота / Р.Э. Дашко, Д.Ю. Власов, А.В. Шидловская. – С.-Пб.: Типография «МСТ», 2014. – 280 с.

Деменев, А.Д. Инженерно-геологические последствия микробиологических процессов в грунтовой плотине: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.08 / Деменев Артем Дмитриевич. – Пермь, 2017. – 25 с.

Демин, А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов / А.М. Демин. – М.: Недра, 1973. – 231 с.

Долина, Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности: справочное пособие / Л.Ф. Долина. – Д.: Молодеж. комиссия, 2000.

Егоров, Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / Н.С. Егоров. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.

Заварзин, Г.А. Микроорганизмы и состав атмосферы / Г.А. Заварзин // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе. – М.: Наука, 1979. – С. 5-34.

Заварзин, Г.А. Бактерии и состав атмосферы / Г.А. Заварзин. – М.: Наука, 1984. – 199 с.

Заварзин, Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии / Г.А. Заварзин. – М.: Наука, 2003. – 348 с.

Заварзин, Г.А. Введение в природоведческую микробиологию / Г.А. Заварзин, Н.Н. Колотилова. – М.: Книжный дом «Университет», 2001. – 256 с.

Зайдельман, Ф.Р. Подзоло- и глееобразование / Ф.Р. Зайдельман. – М.: Наука, 1974. – 208 с.

Зайдельман, Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв / Ф.Р. Зайдельман. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 316 с.

Звягинцев, Д.Г. Газовая фаза почвы и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе. – М.: Наука, 1979. – С. 92-104.

Звягинцев, Д.Г. Управление микробиологическими популяциями в почве / Д.Г. Звягинцев // Сельскохозяйственная биология. – 1983. – № 10. – С. 102-107.

Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 256 с.

Зобелл, К.Е. Микробная биогеохимия кислорода / К.Е. Зобелл. – М.: Изд-во АН СССР, 1972. – 1 т. – С. 23-42.

Зорькин, Л.М. Геохимия газов пластовых вод нефтегазоносных бассейнов / Л.М. Зорькин. – М.: Недра, 1973. – 224 с.

Зорькин, Л.М. Влияние тектогенеза на интенсивность углеводородного дыхания земной коры / Л.М. Зорькин, Е.В. Карус, В.И. Багиров, В.Г. Тыминский // Дегазация Земли и геотектоника. – М.: Недра, 1980. – С. 154-161.

Зубова, Л.Г. Терриконы / Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов, А.А. Зубов, А.В. Харламова, С.Г. Воробьев, Ю.И. Макаришина, В.В. Буняченко. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2015. – 712 с.

Иванов, П.В. Изменение микроагрегатного состава техногенных грунтов при активизации функционального микробного комплекса / П.В. Иванов, С.К. Николаева, Н.А. Манучарова, О.И. Горшколепов // Инженерная геология. – 2014. – № 5. – С. 50-55.

Иванов, П.В. Изменение состава, строения и свойств дисперсных грунтов при активизации их природного микробного комплекса: дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.08. / Иванов Павел Владимирович. – М., 2015. – 187 с.

Ившина, И.Б. Распространение бактерий, усваивающих пропан и бутан в подземных водах Пермского Предуралья / И.Б. Ившина, А.А. Оборин, Л.М. Рубинштейн, В.А. Гусев // Экология и популяционная генетика микроорганизмов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987а. – С. 27-31.

Ившина, И.Б. Пропаноокисляющие родококки / И.Б. Ившина, Р.А. Пшеничников, А.А. Оборин. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987б. – 125 с.

Иларионов, С.А. Микробиологическое изучение образцов керна Тюменской сверхглубокой скважины / С.А. Иларионов, А.А. Оборин, И.А. Селезнев, В.Т. Хмурчик, Л.М. Рубинштейн, Э.З. Бахарева, А.В. Титова // Тюменская сверхглубокая скважина (интервал 0–7502 м). Результаты бурения и исследования. – Пермь: КамНИИКИГС, 1996. – Вып. 4. – С. 294-296.

Илялетдинов, А.Н. Микробиологические превращения металлов / А.Н. Илялетдинов. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 268 с.

Исаев, В.П. Геохимические методы поисков залежей нефти и газа на юге Сибирской платформы / В.П. Исаев, В.И. Королев, Е.П. Костюченкова. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. – 224 с.

Исаченко, Б.Л. Избранные труды / Б.Л. Исаченко. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 2 т. – 431 с.

Калаева, С.З. Породные отвалы угольных шахт России / С.З. Калаева, С.М. Богданов, Н.О. Лукин, А.А. Огер // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – № 1. – С. 3-22.

Карцев, А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений / А.А. Карцев. – М.: Недра, 1972. – 280 с.

Кожевина, Л.С. Микробный блок литосферы / Л.С. Кожевина // Исследования литосферы. – М.: Ин-т литосферы окраинных и внутренних морей РАН, 1999. – С. 56-57.

Кондратьева, Т.Ф. Разнообразие сообществ ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов в природных и техногенных экосистемах / Т.Ф. Кондратьева, Т.А. Пивоварова, И.А. Цаплина, Н.В.

Фомченко, А.Е. Журавлева, М.И. Муравьев, В.С. Меламуд, А.Г. Булаев // Микробиология. – 2012. – Том 81. – № 1. – С. 3-27.

Коронелли, Т.В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводов в окружающей среде / Т.В. Коронелли // Прикладная биохимия и микробиология. – 1996. – Том 32. – № 6. – С. 579-585.

Красавин, А.П. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского бассейна в связи с закрытием шахт / А.П. Красавин, Р.Т. Сафин. – Пермь: ИПК «Звезда», 2005. – 287 с.

Крюкова, О.С. Разработка научно-методических основ технологии очистки кислых шахтных вод и рекультивации отвалов Кизеловского угольного бассейна: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Крюкова Ольга Сергеевна. – Пермь, 2012. – 79 с.

Кузнецов, А.М. О газовых явлениях в основании бетонных плотин / А.М. Кузнецов // Гидротехническое строительство. – 1965. – № 10. – С. 33-37.

Кузнецов, С.И. Итоги и перспективы развития геологической микробиологии / С.И. Кузнецов // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов: Сб. науч. тр. / ред. М.В. Иванов. – Пущино: Изд-во НЦБИ АН СССР, 1976. – С. 8-25.

Кузнецов, С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность / С.И. Кузнецов. – Л.: Наука, 1970. – 439 с.

Кузнецов, С.И. Методы изучения водных микроорганизмов / С.И. Кузнецов, Г.А. Дубинина. – М.: Наука, 1989. – 288 с.

Кузнецов, С.И. Введение в геологическую микробиологию / С.И. Кузнецов, М.В. Иванов, Н.Н. Ляликова. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 239 с.

Кулик, В.Я. Инфильтрация воды в почву / В.Я. Кулик. – М.: Колос, 1978. – 93 с.

Ландина, М.М. Почвенный воздух / М.М. Ландина. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1992. – 169 с.

Ленгуорси, Т. Жизнь микроорганизмов при экстремальных значениях pH / Т. Ленгуорси // Жизнь микробов в экстремальных условиях. – М.: Мир, 1981. – С. 322-364.

Леонов, А.В. Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива / А.В. Леонов, В.М. Пищальник // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 6. – С. 712-726.

Ляликова, Н.Н. Перспективы расширения круга автотрофных микроорганизмов, принимающих участие в геохимических процессах в рудных месторождениях / Н.Н. Ляликова // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов: Сб. науч. тр. / ред. М.В. Иванов. – Пущино: Изд-во НЦБИ АН СССР, 1976. – С. 152-160.

Максимович, Н.Г. Использование геохимических барьеров для решения проблем угольной промышленности / Н.Г. Максимович // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий. – Пермь, 2005. – С. 267-281.

Максимович, Н.Г. Создание геохимических барьеров для очистки стоков породных отвалов/ Н.Г. Максимович // Уголь. – 2006. – № 9. – С. 64.

Максимович, Н.Г. Безопасность плотин на растворимых породах (на примере Камской ГЭС) / Н.Г. Максимович. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2006. – 212 с.

Максимович, Н.Г. Использование геохимических барьеров для очистки изливов кислых вод Кизеловского угольного бассейна / Н.Г. Максимович // Инженерная геология. – 2011. – № 9. – С. 46-51.

Максимович, Н.Г. Исследование возможности повышения агрессивности подземных вод при строительстве на пиритсодержащих глинистых грунтах / Н.Г. Максимович, Е.А. Меньшикова, С.В. Казакевич // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий: Материалы межд. симп., г. Екатеринбург, 2001 г. / – Екатеринбург: «Аква — Пресс», 2001. – 2 т. – С. 545-551.

Максимович, Н.Г. Минералогия чеганских глин и ее инженерно-геологическое значение / Н.Г. Максимович, Е.А. Меньшикова, С.В. Казакевич, В.Г. Шлыков // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: Сб. науч. тр. / – Пермь: Изд-во ПГУ, 2000. – С. 40-43.

Максимович, Н.Г. Формирование кислых стоков с отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) / Н.Г. Максимович, О.Ю. Мещерякова, О.А. Березина, А.Д. Деменев, А.М. Сединин, В.Т. Хмурчик // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. уч-ем, г. Улан-Удэ, 17–20 августа 2020 г. / – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2020. – С. 239-241.

Максимович, Н.Г. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды / Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина. – Пермь, Изд-во Перм. гос. ун-та, 2011. – 248 с.

Максимович, Н.Г. Патент РФ № 54398. МПК E21B 49/08. Пробоотборник / Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т.; ФГНУ “Естественнонаучный институт”. – заявл. 16.12.05; опубл. 27.06.06, Бюл. “Изобретения. Полезные модели”, № 18 (III ч.). – С. 869-870.

Максимович, Н.Г. Патент РФ 2312719, C1 МПК B09C 1/10, C12N 1/26. Консорциум штаммов углеводородокисляющих бактерий *Pseudomonas aeruginosa* НД КЗ-1 и *Pseudomonas fluorescens* НД КЗ-2 в качестве деструктора нефтепродуктов и способ очистки нефтезагрязненных подземных вод / Максимович, Н.Г., Хмурчик В.Т.; ООО “ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ”. – заявл. 15.02.06; опубл. 20.12.07, Бюл. № 35.

Максимович, Н.Г. Микробиологические процессы в грунтовых плотинах / Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик // Инженерные изыскания. – 2013. – № 9. – С. 46-51.

Максимович, Н.Г. Патент РФ № 2592268, МПК C 12 Q1/04, C 12 Q1/64. Способ определения пораженности грунтов газообразующими

микроорганизмами / Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т.; ФГБОУ ВПО ПГНИУ. – заявл. 02.07.13; опубл. 20.07.16, Бюл. № 20.

Максимович, Н.Г. Роль микроорганизмов в повышении мутности дренажных вод плотины / Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик, А.Д. Деменев // Гидротехническое строительство. – 2015. – № 11. – С. 84-86.

Максимович, Н.Г. Комплекс методов исследования микробиологической активности в грунтовых плотинах / Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик, М.А. Лаздовская, А.Д. Деменев // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. – 2014. – № 4. – С. 88-100.

Максимович, Н.Г. Опыт очистки подземных вод от нефтяного загрязнения биологическими методами // Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик, О.Ю. Мещерякова // Промышленная безопасность и экология. – 2009. – № 4 (37). – С. 34-36.

Максимович, Н.Г. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Н.Г. Максимович, Н.В. Черемных, Е.А. Хайрулина // Географический вестник. – 2006. – № 2. – С. 128-134.

Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. – М.: Наука, 1988. – 256 с.

Методы почвенной микробиологии и биохимии / ред. Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.

Миронов, К.В. Справочник геолога-угольщика / К.В. Миронов. – М.: Недра, 1991. – 363 с.

Михайлов, И.М. Биогеохимические предпосылки наличия скоплений жидких углеводородов в газоносных структурах / И.М. Михайлов // Разведка и охрана недр. – 1999. – № 5-6. – С. 54-57.

Мишустин, Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов / Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1975. – 107 с.

Могилевский, Г.А. Микробиологические исследования в связи с газовой съемкой / Г.А. Могилевский // Разведка недр. – 1938. – № 8-9. – С. 231-236.

Могилевский, Г.А. Микробиологический метод поисков газовых и нефтяных залежей / Г.А. Могилевский. – М., Л.: Гостоптехиздат, 1953. – 56 с.

Могилевский, Г.А. Основные вопросы микробиологического метода поисков нефти и газа / Г.А. Могилевский // Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений. – М.: Недра, 1959. – С. 252-268.

Могилевский, Г.А. Применение микроорганизмов при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных, газовых и угольных месторождений / Г.А. Могилевский. – М.: ОНТИТЭИ Микробиопром, 1979. – 56 с.

Могилевский, Г.А. Бактериальный фильтр в зоне нефтяных и газовых месторождений, его особенности и методы изучения / Г.А. Могилевский, В.М. Богданова, С.Н. Кичатова и др. // Геохимические методы поисков нефти и газа и вопросы ядерной геологии. – М.: Недра, 1970. – Вып. 8. – С. 210-246.

Могилевский, Г.А. Распространение и активность бактерий, окисляющих и образующих горючие газы / Г.А. Могилевский, В.М. Богданова, Е.В. Стадник и др. // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе. – М.: Наука, 1979. – С. 270-281.

Могилевский, Г.А. О результатах газобиохимической съемки в районах Мазунинского и Ашапского поднятий Пермской области / Г.А. Могилевский, А.А. Оборин // Сб. науч. тр. ВНИГНИ. – Пермь: ВНИГНИ, 1967. – Вып. 65. – С. 237-243.

Могилевский, Г.А. Результаты газобиохимических исследований на площади подземных газохранилищ Ленинградской области / Г.А. Могилевский, Т.В. Токарев, М.С. Тон, Б.С. Черкинская // Результаты разработки и опробования прямых геохимических методов поисков месторождений нефти и газа. – М.: Недра, 1971. – С. 167-178.

Могильная, О.А. Образование структурированных сообществ природными и трансгенными бактериями, утилизирующими нафталин / О.А.

Могильная, Е.С. Кривомазова, Г.В. Каргатова, Т.И. Лобова, Л.Ю. Попова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Том 41. – № 1. – С. 72-78.

Мониторинг биологических процессов в земляных плотинах Камской ГЭС и разработка методов подавления их активности: отчет о НИР / Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина, В.Т. Хмурчик [и др.] – Пермь: Естественнаучный институт ФГБОУ ВПО ПГНИУ, 2017. – 274 с.

Нерпин, С.В. Энерго- и массообмен в системе растения – почва – воздух / С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский. – Л.: Гидрометиздат, 1971. – 358 с.

О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2018 году. Ежегодный экологический доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wp.permecology.ru/ежегодный-экологический-доклад/ежегодный-экологический-доклад-2018>.

Оборин, А.А. Микробиологические исследования Уральской сверхглубокой скважины / А.А. Оборин, С.А. Иларионов, И.А. Селезнев, В.Т. Хмурчик // Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). – Ярославль: Недра, 1999. – Вып. 5. – С. 354-360.

Оборин, А.А. Концепция организованности подземной биосферы / А.А. Оборин, Л.М. Рубинштейн, В.Т. Хмурчик, Н.С. Чурилова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 148 с.

Оборин, А.А. Нефтезагрязненные биогеоценозы (Процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы) / А.А. Оборин, В.Т. Хмурчик, С.А. Иларионов, М.Ю. Маркарова, А.В. Назаров. – Пермь: УрО РАН, ПГУ, ПГТУ, 2008. – 511 с.

Оборин, А.А. Оценка нефтегазоносности локальных объектов Приуралья по биогеохимическим критериям / А.А. Оборин, М.А. Шишкин, Б.А. Бачурин и др. – Свердловск, УНЦ АН СССР, 1988. – 124 с.

Огородникова, Е.Н. Техногенные грунты / Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 250 с.

Основы прямых геохимических методов поисков нефтяных и газовых месторождений / ред. Ф.А. Алексеев. – М.: Изд-во ОНТИ, 1967.

Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений / ред. А.В. Петухов, И.С. Старобинец. – М.: Недра, 1993. – 332 с.

Отчет об инженерно-геологических условиях строительства гидроэлектростанции. – Л.: Гидроэнергопроект, Ленинградское отделение, 1961. – 134 с.

Отчет по экологическому мониторингу последствий ликвидации шахт и разрезов Уральского региона за 3-4 квартал 2019 г. – Пермь: ООО «Пермэнергоаудит», 2019. – 111 с.

Оценка влияния биологических процессов на физико-механические свойства грунтов тела и основания земляных плотин Камской ГЭС с точки зрения обеспечения их устойчивости: отчет о НИР / Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина, ..., В.Т. Хмурчик [и др.] – Пермь: Естественнонаучный институт ФГБОУ ВПО ПГНИУ, 2011. – 18 с.

Парфенова, Г.К. Многолетняя изменчивость ионно-солевого состава поверхностных вод в районах угледобычи (на примере рек Кемеровской обл.) / Г.К. Парфенова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 4. – С. 326-332.

Печуркин, Н.С. Смешанные проточные культуры микроорганизмов – новый этап в развитии теоретической и прикладной микробиологии / Н.С. Печуркин // Смешанные проточные культуры микроорганизмов. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 3-25.

Потапов, С.С. К минералогии горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) / С.С. Потапов, Н.Г. Максимович // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова: Сб. науч. тр. – Миасс: Изд-во Ин-та Минералогии УрО РАН, 2006. – С. 56-67.

Потапов, С.С. Минералы горелых отвалов Челябинского и Кизеловского угольных бассейнов / С.С. Потапов, Н.Г. Максимович, Н.В. Паршина // Минералогия техногенеза: Сб. науч. тр. – Миасс: Изд-во Ин-та Минералогии УрО РАН, 2007б. – С. 52-63.

Потапов, С.С. Минералого-экологические последствия разработки угольных месторождений. Связь с геологическими условиями и способами добычи (на примере Челябинского и Кизеловского бассейнов) / С.С. Потапов, Н.Г. Максимович, Н.В. Паршина // Восьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова: Сб. науч. тр. – Миасс: Изд-во Ин-та Минералогии УрО РАН, 2007а. – С. 12-34.

Приклонский, В.А. Грунтоведение / В.А. Приклонский. – М.: Гос. изд-во геол. литературы, 1949. – 410 с.

Проект рекультивации земельного участка, загрязненного в результате разгерметизации трубопровода-отвода криминальной врезки, выполненной на 363,5 км конденсатопровода «Оренбург-Салават-Уфа» III нитка. Том I Пояснительная записка. 373-06-П-ПЗ. – Уфа: ГУУ НИИ БЖД РБ, 2017.

Прямые геохимические методы поисков нефти и газа / ред. Е.В. Карус. – М.: Недра, 1970. – Вып. 6. – 446 с.

Радина, В.В. Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния / В.В. Радина // Гидротехническое строительство. – 1973. – № 9. – С. 22–24.

Разработка, создание установки и проведение опытно-промышленных испытаний метода нейтрализации кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна отходами ОАО «Березниковский содовый завод»: отчет о НИР. – Пермь: Естественнонаучный институт ФГБОУ ВПО ПГУ, 2003.

Романенко, В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах / В.И. Романенко. – Л.: Наука, 1985. – 295 с.

Романенко, В.И. Развитие бактерий на растворенных органических веществах пресных водоемов / В.И. Романенко, Е.П. Никифорова // Микробиология. – 1974. – Том 43. – Вып. 1. – С. 133-137.

Романчук, А.И. Сульфаты (SO_4^{2-}) и хлориды (Cl^-) как показатели горнопромышленного загрязнения поверхностных вод (на примере

Рыбницкого угольного района в Польше) / А.И. Романчук // Третьи виноградские чтения. Грани гидрологии: Сб. науч. тр. – 2018. – С. 455-460.

Рубцов, И.В. Закрепление грунтов земляного полотна автомобильных и железных дорог / И.В. Рубцов, В.И. Митраков, О.И. Рубцов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 184 с.

СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения населенных мест. Введ. 26.09.2001. – М., 2001.

Сергеев, Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 384 с.

Середин, В.В. Исследование пространственного распределения углеводородов в почвогрунтах и водах на территориях, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / В.В. Середин – Пермь: Изд-во ПГТУ, 1998. – 106 с.

Середин, В.В. Научное обоснование и практическая реализация способов очистки нефтезагрязненных территорий / В.В. Середин, А.Г. Чернов, В.И. Галкин и др. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2000. – 91 с.

Соколов, В.А. Прямые геохимические методы поисков нефти / В.А. Соколов. – М.: Гостоптехиздат, 1947. – 305 с.

Соколов, В.А. Миграция газа и нефти / В.А. Соколов. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 352 с.

Соколов, В.А. Геохимия природных газов / В.А. Соколов. – М.: Недра, 1971. – 336 с.

Старобинец, И.С. Газогеохимические показатели нефтегазоносности и прогноз состава углеводородных скоплений / И.С. Старобинец. – М.: Недра, 1986. – 141 с.

Сухаревский, В.М. Деформации породных отвалов / В.М. Сухаревский, А.П. Стельмах, И.С. Фридман. – Киев: Техніка, 1970. – 108 с.

Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / ред. Е.М. Сергеев. – М.: Недра, 1985а. – 332 с.

Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / ред. Е.М. Сергеев. – М.: Недра, 1985б. – 288 с.

Тихонов, И.В. Биотехнология / И.В. Тихонов, Е.А. Рубан, Т.Н. Грязнева, О.Я. Самуйленко, В.А. Гаврилов. – С.-Пб.: ГИОРД, 2005. – 792 с.

Тронова, Т.М. Микрофлора различных типов минеральных вод юго-восточной части Западной Сибири / Т.М. Тронова // Микробиология. – 1974. – Том 43. – Вып. 1. – С. 129-131.

Трофимов, В.Т. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зиангиров. – М.: Наука, 2005. – 1024 с.

Тютюнова, Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф.И. Тютюнова. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

Физико-химические основы прямых поисков залежей нефти и газа. – М.: Недра, 1986. – 336 с.

Фролов, А.Ф. Инженерная геология / А.Ф. Фролов, И.В. Коротких. – М.: Недра, 1990. – 412 с.

Хазиев, Ф.Х. Ферментативная активность почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1976. – 180 с.

Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. – Пермь: Изд-во ПГУ, 1967. – 180 с.

Хмурчик, В.Т. Коррозия бетонных стен в потернах Камской ГЭС / В.Т. Хмурчик // Перспективы развития естественных наук в высшей школе: Сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2001. – С. 126-130.

Хмурчик, В.Т. Использование автохтонной микрофлоры для борьбы с нефтяным загрязнением гидросферы на карстовых территориях / В.Т. Хмурчик // Наука – производству. – 2006. – № 1. – С. 32-33.

Хмурчик, В.Т. Патент РФ № 2565409, МПК Е 02 D1/00, G 01 N33/24. Способ отбора веществ ингибиторов газообразования в почвогрунтах / Хмурчик В.Т., Максимович Н.Г.; ФГБОУ ВПО ПГНИУ. – заявл. 30.07.14; опубл. 20.10.15, Бюл. № 29.

Чаповский, Е.Г. Инженерная геология / Е.Г. Чаповский. – М.: Высшая школа, 1975. – 296 с.

Чесноков, Б.В. На горящих терриконах угольных шахт / Б.В. Чесноков. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. – 27 с.

Чесноков, Б.В. Типы техногенной минерализации отвалов Челябинского угольного бассейна / Б.В. Чесноков, Т.А. Михаль, Т.Н. Дерябина // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. – С. 47-58.

Чесноков, Б.В. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза) / Б.В. Чесноков, Е.П. Щербакова. – М.: Наука, 1991. – 152 с.

Щербакова, Е.П. Краткий очерк минералогии горелых угольных отвалов / Е.П. Щербакова // Уральский геологический журнал. – 2018. – № 4 (124). – С. 14-29.

Щербина, В.В. Миграция элементов и процессы минералообразования / В.В. Щербина. – М.: Наука, 1980. – 284 с.

Янин, Е.П. Особенности воздействия на окружающую среду разработки угольных месторождений / Е.П. Янин // Экологическая экспертиза. – 2019. – № 6. – С. 2-59.

Abdollahi, H. Effects of oxygen on the growth of *Desulfovibrio desulfuricans* / H. Abdollahi., J.W.T. Wimpenny // Journal of General Microbiology. – 1990. – Vol. 136. – Iss. 6. – Pp. 1025-1030.

Achtnich, C. Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil / C. Achtnich, F. Bak, R. Conrad // Biology and Fertility of Soils. – 1995. – Vol. 19. – Pp. 65-72.

Acosta-González, A. Characterization of the anaerobic microbial community in oil-polluted subtidal sediments: aromatic biodegradation potential after the Prestige oil spill / A. Acosta-González, R. Rosselló-Móra, S. Marqués // Environmental Microbiology. – 2013. – Vol. 15, – No. 1, – Pp. 77-92.

Addadi, B.L. Control and design principles in biological mineralization / B.L. Addadi, S. Weiner // *Angew. Chem. Int. (Ed. Engl.)*. – 1992. – Vol. 31. – Pp. 153-169.

Aeckersberg, F. Anaerobic oxidation of saturated hydrocarbons to CO₂ by a new type of sulfate-reducing bacterium / F. Aeckersberg, F. Bak, F. Widdel, F // *Archives of Microbiology*. – 1991. – Vol. 156. – Pp. 5-14.

Aeckersberg, F. Growth, natural relationships, cell fatty acids and metabolic adaptation of sulfate-reducing bacteria utilising long-chain alkanes under anoxic conditions / F. Aeckersberg, F.A. Rainey, F. Widdel // *Archives of Microbiology*. – 1998. – Vol. 170. – Pp. 361-369.

Aitken, C.M. Evidence that crude oil alkane activation proceeds by different mechanisms under sulfate-reducing and methanogenic conditions / C.M. Aitken, D.M. Jones, M.J. Maguire, N.D. Gray, A. Sherry, B.F.J. Bowler, A.K. Ditchfield, S.R. Larter, I.M. Head // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2013. – Vol. 109. – Pp. 162-174.

Aloisi, G. Nucleation of calcium carbonate on bacterial nanoglobules / G. Aloisi, A. Gloter, M. Krüger, K. Wallman, F. Guyot, P. Zuddas // *Geology*. – 2006. – Vol. 34. – Pp. 1017-1020.

Anderson, R.T. Hexadecane decay by methanogenesis / R.T. Anderson, D.R. Lovley // *Nature*. – 2000. – Vol. 404. – Pp. 722-723.

Annweiler, E. Anaerobic degradation of 2-methylnaphthalene by a sulfate-reducing enrichment culture / E. Annweiler, A. Materna, M. Safinowski, A. Kappler, H.H. Richnow, W. Michaelis, R.U. Meckenstock // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2000. – Vol. 66. – Pp. 5329-5333.

Annweiler, E. Identical ring cleavage products during anaerobic degradation of naphthalene, 2-methylnaphthalene, and tetralin indicate a new metabolic pathway / E. Annweiler, W. Michaelis, R.U. Meckenstock // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2002. – Vol. 68. – Pp. 852-858.

Arnold, R.G. Regulation of dissimilatory Fe(III) reduction activity in *Shewanella putrifaciens* / R.G. Arnold, M.R. Hoffman, T.J. DiChristina, F.W.

Picardal // Applied and Environmental Microbiology. – 1990. – Vol. 56. – Pp. 2811-2817.

Atlas, R.M. Effects of temperature and crude oil composition on petroleum biodegradation / R.M. Atlas // Applied Microbiology. – 1975. – Vol. 30. – Iss. 3. – Pp. 396-403.

Atlas, R.M. Stimulated petroleum biodegradation / R.M. Atlas // CRC Critical Reviews in Microbiology. – 1977. – Vol. 5. – Iss. 4. – Pp. 371-386.

Atlas, R.M. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective / R.M. Atlas // Microbiological Reviews. – 1981. – Vol. 45. – Iss. 1. – Pp. 180-209.

Bachmeier, K.L. Urease activity in microbiologically-induced calcite precipitation / K.L. Bachmeier, A.E. Williams, J.R. Warmington, S.S. Bang // Journal of Biotechnology. – 2002. – Vol. 93. – Pp. 171-181.

Bade, K. Behavior of sulfate reducing bacteria under oligotrophic conditions and oxygen stress in particle-free systems related to drinking water / K. Bade, W. Manz, U. Szewzyk // FEMS Microbiology Ecology. – 2000. – Vol. 32. – Iss. 3. – Pp. 215-223.

Baker, B.J. Microbial communities in acid mine drainage / B.J. Baker, J.F. Banfield // FEMS Microbiology Ecology. – 2003. – Vol. 44. – Iss. 2. – Pp. 139-152.

Ball, H.A. Monoaromatic hydrocarbon transformation under anaerobic conditions at Seal Beach, California: laboratory studies / H.A. Ball, M. Reinhard // Environmental and Toxicological Chemistry. – 1996. – Vol. 15. – Pp. 114-122.

Barbić, F.F. Iron and manganese bacteria in Ranney wells / F.F. Barbić, D.M. Bracilović, M.V. Djindjić, S.M. Djorelijevski, J.S. Zivković, B.V. Krajinčanić // Water Research. – 1974. – Vol. 8. – № 11. – Pp. 895-898.

Barker, W.W. Biologically versus inorganically-mediated weathering reactions: Relationships between minerals and extracellular microbial polymers in lithobiontic communities / W.W. Barker, J.F. Banfield // Chemical Geology. – 1996. – Vol. 132. – Pp. 55-69.

Barton, H.A. Microbial life in the underworld: Biogenicity in secondary mineral formations / H.A. Barton, J.R. Spear, N.R. Pace // *Geomicrobiological Journal*. – 2001. – Vol. 18. – Pp. 359-368.

Bedessem, M. Naphthalene mineralization coupled to sulfate-reduction in aquifer-derived enrichments / M. Bedessem, N. Swoboda-Colberg, P. Colberg // *FEMS Microbiological Letters*. – 1997. – Vol. 152. – Pp. 213-218.

Beller, H.R. Metabolic byproducts of anaerobic toluene degradation by sulfate-reducing enrichment cultures / H.R. Beller, M. Reinhard, D. Grbić-Galić // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1992. – Vol. 58. – Pp. 3192-3195.

Benner, R. Bulk chemical characteristics of dissolved organic matter in the ocean / R. Benner, J.D. Pakulski, M. McCarthy, J.I. Hedges, P.G. Hatcher // *Science*. – 1992. – Vol. 255. – Pp. 1561-1564.

Bennet, J.C. Bacterial leaching patterns on pyrite crystal surface / J.C. Bennet, H. Tributsch // *Journal of Bacteriology*. – 1978. – Vol. 134. – Pp. 310-326.

Berggren, M. Efficient aquatic bacterial metabolism of dissolved low-molecular-weight compounds from terrestrial sources / M. Berggren, H. Laudon, M. Haei, L. Ström, M. Jansson // *The ISME Journal*. – 2010. – Vol. 4. – Pp. 408-416.

Berner, R.A. Sedimentary pyrite formation: An update / R.A. Berner // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1984. – Vol. 48. – Iss. 4. – Pp. 605-615.

Bertilsson, S. Photochemically produced carboxylic acids as substrates for freshwater bacterioplankton / S. Bertilsson, L.J. Tranvik // *Limnology and Oceanography*. – 1998. – Vol. 43. – Pp. 885-895.

Bianchi, T.S. Temporal variability in sources of dissolved organic carbon in the lower Mississippi River / T.S. Bianchi, T. Filley, K. Dria, P.G. Hatcher // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2004. – Vol. 68. – No. 5. – Pp. 959-967.

Blodau, C. A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds / C. Blodau // *Science of the Total Environment*. – 2006. – Vol. 369. – Iss. 1-3. – Pp. 307-332.

Blowes, D.W. In-situ treatment of mine drainage water using porous reactive walls / D.W. Blowes, K.R. Ptacek, K.R. Waybrant, J.G. Bain // Proc. 11th Ann. Meeting BIOMINET, 1995. – Pp. 103-115.

Bond, D.R. Reduction of Fe(III) oxide by methanogens in the presence and absence of extracellular quinines / D.R. Bond, D.R. Lovley // Environmental Microbiology. – 2002. – Vol. 4. – Iss. 2. – Pp. 115-124.

Bond, P.L. Phylogeny of microorganisms populating a thick, subaerial, predominantly lithotrophic biofilm at an extreme acid mine drainage site / P.L. Bond, S.P. Smriga, J.F. Banfield // Applied and Environmental Microbiology. – 2000. – Vol. 66. – No. 9. – Pp. 3842-3849.

Boon, M. Mechanisms and rate limiting steps in bioleaching of sphalerite, chalcopyrite, and pyrite with *Thiobacillus ferrooxidans* / M. Boon, J.J. Heijnen // Biohydrometallurgy technologies / Eds. Torma A.E., Wey J.I., Lakshmanan V.L. – The minerals, metals and materials society, 1993. – Vol. Bioleaching Processes. – P. 217.

Boquet, E. Production of calcite (calcium carbonate) crystals by soil bacteria is a common phenomenon / E. Boquet, A. Boronat, A. Ramos-Cormenzana // Nature. – 1973. – Vol. 246. – Pp. 527-529.

Bos, R. Retention of bacteria on a substratum surface with micro-patterned hydrophobicity / R. Bos, H.C. van der Mei, J. Gold, H.J. Busscher // FEMS Microbiological Letters. – 2000. – Vol. 189. – Iss. 2. – Pp. 311-315.

Bradley, P.M. Methyl t-butyl ether mineralization in surface-water sediment microcosms under denitrifying conditions / P.M. Bradley, F.H. Chapelle, J.E. Landmeyer // Applied and Environmental Microbiology. – 2001. – Vol. 67. – Iss. 4. – Pp. 1975-1978.

Brady, K. Evaluation of acid-base accounting to predict the quality of drainage at surface coal mines in Pennsylvania, USA / K. Brady, E. Perry, R. Beam, D. Bisko, M. Gardner, J. Tarantino // Proc. Int. Land Reclamation and Mine Drainage Conf., 1994. – Pittsburgh: U.S. Bureau of Mines, 1994. – SP-06A-94.

Bragg, J.R. Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill / J.R. Bragg, R.C. Prince, E.J. Harner, R.M. Atlas // *Nature*. – 1994. – Vol. 368. – Pp. 413-418.

Braissant, O. Bacterially induced mineralization of calcium carbonate in terrestrial environment: the role of exopolysaccharides and amino-acids / O. Braissant, G. Cailleau, C. Dupraz, A.P. Verrecchia // *Journal of Sedimentary Research*. – 2003. – Vol. 73. – Pp. 485-490.

Brakstad, O.G. Biodegradation of petroleum hydrocarbons in seawater at low temperatures (0–5 °C) and bacterial communities associated with degradation / O.G. Brakstad, K. Bonaunet // *Biodegradation*. – 2006. – No. 17. – Pp. 71-82.

Bregnard, T.P.-A. Degradation of weathered diesel fuel by microorganisms from a contaminated aquifer in aerobic and anaerobic microcosms / T.P.-A. Bregnard, P. Höhener, A. Häner, J. Zeyer. // *Environmental and Toxicological Chemistry*. – 1996. – Vol. 15. – Pp. 299-307.

Bregnard, T.P.-A. Anaerobic degradation of pristane in nitrate-reducing microcosms and enrichment cultures / T.P.-A. Bregnard, P. Höhener, A. Häner, J. Zeyer // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1997. – Vol. 63. – Pp. 2077-2081.

Bumison, B.K. Isolation of colloidal fibrils from lake water by physical separation techniques / B.K. Bumison, G.G. Leppard // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 1983. – Vol. 40. – Pp. 373-381.

Burbank, M.B. Precipitation of calcite by indigenous microorganisms to strengthen liquefiable soils / M.B. Burbank, T.J. Weaver, T.L. Green, B.C. Williams, R.L. Crawford // *Geomicrobiology Journal*. – 2011. – Vol. 28. – No. 4. – Pp. 301-312.

Burbank, M.B. Urease activity of ureolytic bacteria isolated from six soils in which calcite was precipitated by indigenous bacteria / M.B. Burbank, T.J. Weaver, B.C. Williams, R.L. Crawford // *Geomicrobiology Journal*. – 2012. – Vol. 29. – Iss. 4. – Pp. 389-395.

Burland, S. Anaerobic benzene biodegradation linked to nitrate reduction / S. Burland, E. Edwards // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1999. – Vol. 65. – Pp. 529-533.

Burney, C.M. Diel relationships of microbial trophic groups and in situ dissolved carbohydrate dynamics in the Caribbean Sea / C.M. Burney, P.G. Davis, K.M. Johnson, J.McN. Sieburth // *Marine Biology*. – 1982. – Vol. 67. – Pp. 311-322.

Butler, T.W. Isotope geochemistry of drainage from an acid mine impaired watershed, Oakland, California / T.W. Butler // *Applied Geochemistry*. – 2007. – Vol. 22. – Pp. 1416-1426.

Caldwell, M.E. Anaerobic biodegradation of long-chain n-alkanes under sulfate-reducing conditions / M.E. Caldwell, R.M. Garrett, R.C. Prince, J.M. Suflita // *Environmental Science and Technology*. – 1998. – Vol. 32. – Pp. 2191-2195.

Caldwell, M.E. Microbial metabolism of benzene and the oxidation of ferrous iron under anaerobic conditions: Implications for bioremediation / M.E. Caldwell, R.S. Tanner, J.M. Suflita // *Anaerobe*. – 1999. – Vol. 5. – Iss. 6. – Pp. 595-603.

Callaghan, A.V. Comparison of mechanisms of alkane metabolism under sulfate-reducing conditions among two bacterial isolates and a bacterial consortium / A.V. Callaghan, L.M. Gieg, K.G. Kropp, J.M. Suflita, L.Y. Young // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2006. – Vol. 72. – No. 6. – Pp. 4274-4282.

Callaghan, A.V. The genome sequence of *Desulfatibacillum alkenivorans* AK-01: a blueprint for anaerobic alkane oxidation / A.V. Callaghan, B.E.L. Morris, I.A.C. Pereira, M.J. McInerney, R.N. Austin, J.T. Groves, J.J. Kukor, J.M. Suflita, L.Y. Young, G.J. Zylstra, B. Wawrik // *Environmental Microbiology*. – 2012. – Vol. 14. – No. 1. – Pp. 101-113.

Callaghan, A.V. Anaerobic biodegradation of *n*-hexadecane by a nitrate-reducing consortium / A.V. Callaghan, M. Tierney, C.D. Phelps, L.Y. Young //

Applied and Environmental Microbiology. – 2009. – Vol. 75. – No. 5. – Pp. 1339-1344.

Carrucio, F. Pyritic materials: acid drainage, soil acidity, and liming / F. Carrucio, L.R. Hossner, G. Geidel // Reclamation of surface mined lands / ed. L.R. Hossner. – Boca Raton: CRC Press, 1988. – Pp. 159-190.

Casagrande, D.J. The non-participation of organic sulfur in acid mine drainage generation / D.J. Casagrande, R.B. Finkelman, F.T. Carrucio // Environmental Geochemistry and Health. – 1989. – Vol. 7. – Pp. 187-192.

Castanier, S. Ca-carbonates precipitation and limestone genesis — the microbiogeologist point of view / S. Castanier, G. Le Métayer-Levrel, J.-P. Perthuisot // Sedimentary Geology. – 1999. – Vol. 126. – №. 1–4. – Pp. 9-23.

Castro, H.F. Phylogeny of sulfate-reducing bacteria / H.F. Castro, N.H. Williams, A. Ogram // FEMS Microbiology Ecology. – 2000. – Vol. 31. – Iss. 1. – Pp. 1-9.

Cervantes, F.J. Anaerobic mineralization of toluene by enriched sediments with quinones and humus as terminal electron acceptors / F.J. Cervantes, W. Dijkema, T. Duong-Dac, A. Ivanova, G. Lettinga, J.A. Field. // Applied and Environmental Microbiology. – 2001. – Vol. 67. – Pp. 4471-4478.

Chapelle, F.H. Rates of microbial metabolism in deep coastal plain aquifers/ F.H. Chapelle, D.R. Lovley // Applied and Environmental Microbiology. – 1990. – Vol. 56. – Pp. 1865-1874.

Chapelle, G. Patent WO 2009098091. Impermeability rehabilitation of civil engineering structures / Chapelle G., Valayer P.J. – 2009.

Chen, C.-I. Thermophilic biodegradation of BTEX by two consortia of anaerobic bacteria / C.-I. Chen, R.T. Taylor// Applied Microbiology and Biotechnology. – 1997. – Vol. 48. – Pp. 121-128.

Chen, G. Impact of surface thermodynamics on bacterial transport / G. Chen, K.A. Strevett // Environmental Microbiology. – 2001. – Vol. 3. – Iss. 4. – Pp. 237-245.

Chen, G. Bacterial deposition in porous medium as impacted by solution chemistry / G. Chen, H.L. Zhu // *Research in Microbiology*. – 2004. – Vol. 155. – Iss. 6. – Pp. 467-474.

Cheng, L. Upscaling effects of soil improvement by microbially induced calcite precipitation by surface percolation / L. Cheng, R. Cord-Ruwisch // *Geomicrobiology Journal*. – 2014. – Vol. 31. – No. 5. – Pp. 396-406.

Cheng, L. Cementation of sand soil by microbially induced calcite precipitation at various degrees of saturation / L. Cheng, R. Cord-Ruwisch, M.A. Shahin. // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2013. – Vol. 50. – Pp. 81-90.

Chidthaisong, A. Turnover of glucose and acetate coupled to reduction of nitrate, ferric iron, and to methanogenesis in anoxic field soil / A. Chidthaisong, R. Conrad // *FEMS Microbial Ecology*. – 2000. – Vol. 31. – Pp. 73-86.

Chou, C.-W. Biocalcification of sand through ureolysis / C.-W. Chou, E.A. Seagren, A.H. Aydilek, M. Lai // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2011. – Vol. 137. – No. 12. – Pp. 1179-1189.

Christensen, D. Turnover of ^{14}C -labelled acetate in marine sediments / D. Christensen, T.H. Blackburn // *Marine Biology*. – 1982. – Vol. 71. – Pp. 113-119.

Chu, J. Iron- and calcium-based biogrouts for soil improvement / J. Chu, V. Ivanov // *Geo-Congress 2014. Technical Papers: Geo-characterization and modeling for sustainability* / eds. M. Abu-Farsakh, L.R. Hoyos. – 2014. – Pp. 1596-1601.

Chu, J. Development of microbial geotechnology in Singapore / J. Chu, V. Ivanov, J. He, M. Naeimi, B. Li, V. Stabnikov // *Geo-Frontiers 2011. Advances in Geotechnical Engineering. Geotechnical Special Publications (GSP)* / eds. J. Han, D.E. Alzamora. – 2011. – GSP 211. – Pp. 4070-4078.

Chu, J. Microbially Induced calcium carbonate precipitation on surface or in the bulk of soil / J. Chu, V. Stabnikov, V. Ivanov // *Geomicrobiology Journal*. – 2012. – Vol. 29. – Iss. 6. – Pp. 544-549.

Church, C.D. Microbial sulfate reduction and metal attenuation in pH 4 acid mine water / C.D. Church, R.T. Wilkin, C.N. Alpers, R.O. Rye, R.B. McCleskey //

Geochemical Transactions. – 2007. – Vol. 8. – No. 10. – doi:10.1186/1467-4866-8-10.

Clough, G.W. Cemented sands under static loading / G.W. Clough, N. Sitar, R.C. Bachus, N.S. Rad // Journal of the Geotechnical Engineering Division. – 1981. – Vol. 107. – No. 6. – Pp. 799-817.

Coates, J.D. Oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons under sulfate-reducing conditions / J.D. Coates, R.T. Anderson, D.R. Lovely // Applied and Environmental Microbiology. – 1996. – Vol. 62. – Pp. 1099-1101.

Coffin, R.B. Availability of dissolved organic carbon to bacterioplankton examined by oxygen utilization / R.B. Coffin, J.P. Connolly, P.S. Harris // Marine Ecology. Progress Series. – 1993. – Vol. 101. – Pp. 9-22.

Cole, D.M. Small-Scale Mechanical Properties of Biopolymers / D.M. Cole, D.B. Ringelberg, C.M. Reynolds // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2012. – Vol. 138. – No. 9. – Pp. 1063-1074.

Coleman, M.L. Reduction of Fe(III) in sediments by sulphate-reducing bacteria / M.L. Coleman, D.B. Hedrick, D.R. Lovley, D.C. White, K. Pye // Nature. – 1993. – Vol. 361. – Pp. 436-438.

Corstjens, P.L. Enzymatic iron oxidation by *Leptothrix discophora*: identification of an iron-oxidizing protein / P.L. Corstjens, J.P. de Vrind, P. Westbroek, E.W. de Vrind-de Jong // Applied and Environmental Microbiology. – 1992. – Vol. 58. – Pp. 450-454.

Coulon, F. Effects of temperature and biostimulation on oil-degrading microbial communities in temperate estuarine waters / F. Coulon, B.A. McKew, A.M. Osborn, T.J. McGenity, K.N. Timmis // Environmental Microbiology. – 2007. – Vol. 9. – No. 1. – Pp. 177-186.

Crawford, R.L. Patent US 8420362. *In situ* precipitation of calcium carbonate (CaCO_3) by indigenous microorganisms to improve mechanical properties of a geomaterial / Crawford R.L., Burbank M.B., Weaver T.J., Williams B.C. – 2013.

Criddle, C.S. Reduction of hexachloroethane to tetrachloroethylene in groundwater / C.S. Criddle, P.L. McCarty, M.C. Elliott, et al. // *Journal of Contaminants and Hydrology*. – 1986. – Vol. 1. – Pp. 133-142.

Cypionka, H. Oxygen respiration by *Desulfovibrio* species / H. Cypionka // *Annual Reviews in Microbiology*. – 2000. – Vol. 54. – Pp. 827-848.

Dade-Robertson, M. Architects of nature: growing buildings with bacterial biofilms / M. Dade-Robertson, A. Keren-Paz, M. Zhang, I. Kolodkin-Gal // *Microbial Biotechnology*. – 2017. – Vol. 10. – Iss. 5. – Pp. 1157-1163.

de Lorenzo, V. Seven microbial bio-processes to help the planet / V. de Lorenzo // *Microbial Biotechnology*. – 2017. – Vol. 10. – Iss. 5. – Pp. 995-998.

Deans, J.R. Uptake of Pb^{2+} and Cu^{2+} by novel biopolymers / J.R. Deans, B.G. Dixon // *Water Research*. – 1992. – Vol. 26. – No. 4. – Pp. 469-472.

DeJong, J.T. Bio-mediated soil improvement / J.T. DeJong, M.M. Brina, C.M. Brian, D.C. Nelson // *Ecological Engineering*. – 2010. – Vol. 36. – Pp. 197-210

DeJong, J.T. Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear / J.T. DeJong, M.B. Fritzges, K. Nüsslein // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2006. – Vol. 132. – No. 11. – Pp. 1381-1392.

Dejonghe, W. Bioaugmentation of soils by increasing microbial richness: missing links / W. Dejonghe, N. Boon, D. Seghers, E.M. Top, W. Verstraete // *Environmental Microbiology*. – 2001. – Vol. 3. – Iss. 10. – Pp. 649-657.

Dejonghe, W. Effect of dissemination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) degradation plasmids on 2,4-D degradation and on bacterial community structure in two different soil horizons / W. Dejonghe, J. Goris, S. El Fantroussi, M. Höfte, P. De Vos, W. Verstraete, E.M. Top // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2000. – Vol. 66. – Pp. 3297-3304.

Delfosse-Ribay, E. Comparison of creep behaviour and fatigue behaviour of grouted sand / E. Delfosse-Ribay., I. Djeran-Maigre, R. Cabrillac // *Soils and Foundations*. – 2007. – Vol. 47. – Iss. 2. – Pp. 185-194.

Demain, A.L. Ecology and industrial microbiology / A.L. Demain, L. Dijkhuizen // *Current Opinion in Microbiology*. – 2006. – Vol. 9. – Iss. 3. – Pp. 237-239.

Demenev, A.D. Improvement of sand properties using bio-technological precipitation of calcite cement (CaCO_3) / A.D. Demenev, V.T. Khmurchik, N.G. Maksimovich, E.P. Demeneva, A.M. Sedinin // *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 2021, Vol. 80, Article 580. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09818-w>.

Demenev, A.D. Microbial changes of the earth dam mechanical properties and the improvement of them / A.D. Demenev, N.G. Maksimovich, V.T. Khmurchik, A.M. Sedinin // *IAEG/AEG 2018 Annual Meeting Proceedings* / eds. Shakoor A., Cato K. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 4. – Pp. 41-45.

Deppe, U. Degradation of crude oil by an arctic microbial consortium / U. Deppe, H.-H. Richnow, W. Michaelis, G. Antranikian. // *Extremophiles*. – 2005. – Vol. 9. – Pp. 461-470.

Devlin, J.F. A semipassive nutrient injection scheme for enhanced *in situ* bioremediation / J.F. Devlin, J.F. Barker // *Ground Water*. – 1994. – Vol. 32. – Iss. 3. – Pp. 374-380.

Dibble, J.T. Effect of iron on the biodegradation of petroleum in seawater / J.T. Dibble, R. Bartha // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1976. – Vol. 31. – No. 4. – Pp. 544-550.

Dietz, J.M. Evaluation of acidic mine drainage treatment in constructed wetland systems / J.M. Dietz, R.G. Watts, D.M. Stidinger // *Proc. 11th Ann. Meeting of the ASMR, Pittsburgh, April 24-29, 1994*. – Pittsburgh: ASMR, 1994. – Pp. 70-79.

Dilling, W. Aerobic respiration in sulfate-reducing bacteria / W. Dilling, H. Cypionka // *FEMS Microbiological Letters*. – 1990. – Vol. 71. – Iss. 1-2. – Pp. 123-128.

Dockins, W.S. Dissimilatory bacterial sulfate reduction in Montana groundwaters / W.S. Dockins, G.J. Olson, G.A. McFeters, S.C. Turbak // *Geomicrobiology Journal*. – 1980. – Vol. 2. – Iss. 1. – Pp. 83-98.

Dornbush, M.E. Grasses, litter, and their interaction affect microbial biomass and soil enzyme activity / M.E. Dornbush // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – Pp. 2241-2249.

Druschel, G.K. Acid mine drainage biogeochemistry at Iron Mountain, California / G.K. Druschel, B.J. Baker, T.M. Gihring, J.F. Banfield // *Geochemical Transactions*. – 2004. – Vol. 5. – Iss. 2. – Pp. 13-32.

Druschel, G.K. Kinetics and mechanism of trithionate and tetrathionate oxidation at low pH by hydroxyl radicals / G.K. Druschel, R.J. Hamers, G.W. Luther III, J.F. Banfield // *Aquatic Geochemistry*. – 2003. – Vol. 9. – Pp. 145-164.

Dunsmore, B.C. A novel approach to investigate biofilm accumulation and bacterial transport in porous matrices / B.C. Dunsmore, C.J. Bass, H.M. Lappin-Scott // *Environmental Microbiology*. – 2004. – Vol. 6. – Iss. 2. – Pp. 183-187.

Dupraz, C. Microbe–mineral interactions: early carbonate precipitation in a hypersaline lake (Eleuthera Island, Bahamas) / C. Dupraz, P.T. Visscher, L.K. Baumgartner, R.P. Reid // *Sedimentology*. – 2004. – Vol. 51. – Pp. 745-765.

Durham, B. Membranes as pretreatment to desalination in waste water reuse: operating experience in the municipal and industrial sectors / B. Durham, M. Bourbigols, T. Pankralz // *Desalination*. – 2001. – Vol. 130. – Pp. 83-90.

Dvorak, D.H. Treatment of metal-contaminated water using bacterial sulfate reduction: Results from pilot-scale reactors / D.H. Dvorak, R.S. Hedin, H.M. Edenborn, P.E. McIntire // *Biotechnology and Bioengineering*. – 1992. – Vol. 40. – Iss. 5. – Pp. 609-616.

Edwards, E.A. Complete mineralization of benzene by aquifer microorganisms under strictly anaerobic conditions / E.A. Edwards, D. Grbić-Galić, // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1992. – Vol. 58. – Pp. 2663-2666.

Edwards, E.A. Anaerobic degradation of toluene and xylene by aquifer microorganisms under sulfate-reducing conditions / E.A. Edwards, L.E. Wells, M. Reinhard, D. Grbić-Galić // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1992. – Vol. 58. – Pp. 794-800.

Edwards, K.J. Characteristics of attachment and growth of *Thiobacillus caldus* on sulphide minerals: a chemotactic response to sulphur minerals? / K.J. Edwards, P.L. Bond, J.F. Banfield // Environmental Microbiology. – 2000. – Vol. 2. – Pp. 324-332.

Edwards, K.J. Geomicrobiology of pyrite (FeS₂) dissolution: case study at Iron Mountain, California / K.J. Edwards, B.M. Goebel, T.M. Rodgers, M.O. Schrenk, T.M. Gihring, M.M. Cardona, B. Hu, M.M. McGuire, R.J. Hamers, N.R. Pace, J.F. Banfield // Geomicrobiology Journal. – 1999. – Vol. 16. – Iss. 2. – Pp. 155-179.

Edwards, K.J. Microbial oxidation of pyrite: experiments using microorganisms from an extreme acidic environment / K.J. Edwards, M.O. Schrenk, R.J. Hamers, J.F. Banfield // American Mineralogist. – 1998. – Vol. 83. – Pp. 1444-1453.

Eger, P. The design of a wetland treatment system to remove trace metals from mine drainage / P. Eger, G. Melchert // Proc. 9th Ann. Meeting of the ASMR, Duluth, June 14-18, 1992. – Duluth: ASMR, 1992. – Pp. 98-107.

Ehrenrich, P. Anaerobic oxidation of alkanes by newly isolated denitrifying bacteria / P. Ehrenrich, A. Behrends, J. Harder, F. Widdel // Archives of Microbiology. – 2000. – Vol. 173. – Pp. 58-64.

Ehrlich, H.L. Geomicrobiology / H.L. Ehrlich. – 3rd ed. – N.Y., Basel, Hong Kong: Marcel Dekker, Inc., 1996. – 719 pp.

El Fantroussi, S. Is bioaugmentation a feasible strategy for pollutant removal and site remediation? / S. El Fantroussi, S.N. Agathos // Current Opinion in Microbiology. – 2005. – Vol. 8. – Iss. 3. – Pp. 268-275.

Elmen, J. Kinetics of toluene degradation by a nitrate-reducing bacterium isolated from a groundwater aquifer / J. Elmen, W. Pan, S.Y. Leung, A. Magyarosy, J.D. Keasling // Biotechnology and Bioengineering. – 1997. – Vol. 55. – Iss. 1. – Pp. 82-90.

Elshahed, M.S. Is interspecies hydrogen transfer needed for toluene degradation under sulfate-reducing conditions? / M.S. Elshahed, M.J. McInerney // *FEMS Microbiology Ecology*. – 2001. – Vol. 35. – Pp. 163-169.

Etemadi, O. Stabilization of metals in subsurface by biopolymers: laboratory drainage flow studies / O. Etemadi, I.G. Petrisor, D. Kim, M. Wan, T.F. Yen // *Soil and Sediment Contamination*. – 2003. – Vol. 12. – Pp. 647-661.

Eusterhues, K. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation / K. Eusterhues, C. Rumpel, I. Kögel-Knabner // *Organic Geochemistry*. – 2005. – Vol. 36. – Iss. 11. – Pp. 1567-1575.

Faulkner, B.B. Treatment of acid mine drainage by passive treatment systems / B.B. Faulkner, J.G. Skousen // *Proc. 11th Ann. Meeting of the ASMR, Pittsburgh, April 24-29, 1994*. – Pittsburgh: ASMR, 1994. – Pp. 250-257.

Fedorak, P.M. Microbial degradation of aromatics and saturates in Prudhoe Bay crude oil as determined by glass capillary gas chromatography / P.M. Fedorak, D.W. Westlake // *Canadian Journal of Microbiology*. – 1981. – Vol. 27. – Pp. 432-443.

Ferris, F.G. Patent US 5143155. Bacteriogenic mineral plugging / Ferris F.G., Stehmeier L.G. – 1992.

Ferris, F.G. Bacteriogenic mineral plugging / F.G. Ferris, L.G. Stehmeier, A. Kantzas, F.M. Mourits // *Journal of Canadian Petroleum Technology*. – 1996. – Vol. 35. – No. 8. – Pp. 56-61.

Findon, A. Transport studies for the sorption of copper ions by chitosan / A. Findon, G. McKay, H.S. Blair // *Journal of Environmental Science and Health*. – 1993. – Vol. A28. – No. 1. – Pp. 173-185.

Fliermans, C.B. Microbial life in the terrestrial subsurface of southeastern coastal plain sediments / C.B. Fliermans // *Hazardous Wastes and Hazardous Materials*. – 1989. – Vol. 6. – Iss. 2. – Pp. 155-171.

Ford, D.W. Diversity squared / D.W. Ford // *Environmental Microbiology*. – 2002. – Vol. 4. – Iss. 1. – Pp. 10-12.

Fortin, D. Role of *Thiobacillus* and sulfate-reducing bacteria in iron biocycling in oxic and anoxic mine tailings / D. Fortin, B. Davis, T.J. Beveridge // FEMS Microbiology Ecology. – 1996. – Vol 21. – Iss. 1. – Pp. 11-24.

Fortin, D. Microbial sulfate reduction within sulfidic mine tailings: Formation of diagenetic Fe sulfides / D. Fortin, T.J. Beveridge // Geomicrobiology Journal. – 1997. – Vol. 14. – Iss. 1. – Pp. 1-21.

Fortin, D. Surface-mediated mineral development by bacteria / D. Fortin, F.G. Ferris, T.J. Beveridge // Reviews in Mineralogy. – 1997. – Vol. 35. – Pp. 161-180.

Fortin, D. Formation and occurrence of biogenic iron-rich minerals / D. Fortin, S. Langley // Earth-Science Reviews. – 2005. – Vol. 72. – No. 1-2. – Pp. 1-19.

Fortin, D. Iron and sulfur cycling in the zone of microbial sulfate reduction in mine tailings / D. Fortin, J.-P. Rioux, M. Roy // Water, Air and Soil Pollution Focus. – 2002. – Vol. 2. – Iss. 3. – Pp. 37-56.

Fortin, D. Occurrence of sulfate-reducing bacteria under a wide range of physico-chemical conditions in Au and Cu-Zn mine tailings / D. Fortin, M. Roy, J.-P. Rioux, P.J. Thibault // FEMS Microbiology Ecology. – 2000. – Vol. 33. – Iss. 3. – Pp. 197-208.

Fredrickson, J.K. Lithotrophic and heterotrophic bacteria in deep subsurface sediments and their relation to sediment properties / J.K. Fredrickson, T.R. Garland, R.J. Hicks, J.M. Thomas, S.W. Li, K.M. McFadden // Geomicrobiology Journal. – 1989. – Vol. 7. – No. 1/2. – Pp. 53-66.

Fujita, Y. Subsurface calcium carbonate precipitation by ureolytic subsurface bacteria / Y. Fujita, F.G. Ferris, R.D. Lawson, F.S. Colwell, R.W. Smith. // Geomicrobiology Journal. – 2000. – Vol. 17. – Iss. 4. – Pp. 305-318.

Fyson, A. Microbially-mediated metal removal from acid mine drainage / A. Fyson, M. Kalin, M. Smith // Environmental biotechnology / eds. Moo-Young M., Anderson W.A., Chakrabarty A.M. – Dordrecht: Springer, 1995. – Pp. 533-543.

Galchenko, V.F. Biogeochemical processes of methane cycle in the soils, bogs, and lakes of western Siberia / V.F. Galchenko, L.E. Dulov, B. Cramer, N.I. Konova, S.V. Barysheva // *Microbiology*. – 2001. – Vol. 70. – Iss. 2. – Pp. 175-185.

Gallagher, N. Passive treatment of mining influenced wastewater with biochemical reactor treatment at the Standard mine Superfund site, Crested Butte, Colorado / N. Gallagher, E. Blumenstein, T. Rutkowski, J. DeAngelis, D. Reisman, C. Progeess // *Proc. 29th Ann. Meeting of the ASMR, Tupelo, June 8-15, 2012*. – Tupelo: ASMR, 2012. – Pp. 137-153.

Gallagher, P.M. Stabilization of liquefiable soils using colloidal silica grout / P.M. Gallagher, A. Pamuk, T. Abdoun // *Journal of Materials in Civil Engineering*. – 2007. – Vol. 19. – Iss. 1. – Pp. 33-40.

Garcia, B. Patent WO 2009133312. Method for reducing fluid flows in a porous medium by means of a biological process / Garcia B., Blanchet D., Beaumont V., Haeseler F. – 2009.

Garrels, R.M. Oxidation of pyrite by iron sulfate solution / R.M. Garrels, M.E. Thompson // *American Journal of Sciences*. – 1960. – Vol. 258A. – Pp. 57-67.

Gentry, T.J. New approaches for bioaugmentation as a remediation technology / T.J. Gentry, C. Rensing, I.L. Pepper // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. – 2004. – Vol. 34. – Iss. 5. – Pp. 447-494.

Gerilla, G.P. An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction / G.P. Gerilla, K. Teknomo, K. Hokao // *Building and Environment*. – 2007. – Vol. 42. – Pp. 2778-2784.

Ghiorse, W.C. Microbial ecology of the terrestrial subsurface / W.C. Ghiorse, J.T. Wilson // *Advances in Applied Microbiology*. – 1988. – Vol. 33. – Pp. 107-172.

Gibert, O. Chemical characterization of natural organic substrates for biological mitigation of acid mine drainage / O. Gibert, J. de Pablo, J.L. Cortina, C. Ayora. // *Water Research*. – 2004. – Vol. 38. – Pp. 4186-4196.

Gibson, G.R. Physiology and ecology of the sulphate-reducing bacteria / G.R. Gibson // Journal of Applied Bacteriology. – 1990. – Vol. 69. – Iss. 6. – Pp. 769-797.

Ginger, K.D. Patent US 8728365. Methods for making construction material using enzyme producing bacteria / Ginger K.D. – 2014.

Gold, T. The deep, hot biosphere / T. Gold // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. – 1992. – Vol. 89. – Pp. 6045-6049.

Gomez, M.G. Field-scale bio-cementation tests to improve sands / M.G. Gomez, B.C. Martinez, J.T. DeJong, C.E. Hunt, L.A. deVlaming, D.W. Major, S.M. Dworatzek // Ground improvement: Proceedings of the Institution of Civil Engineers. – 2014. – Paper 1300052. – Pp. 1-11.

Graber, E.R. Soil stabilization in semiarid and arid land agriculture / E.R. Graber, P. Fine, G.J. Levy // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2006. – Vol. 18. – No. 2. – Pp. 190-205.

Grbić-Galić, D. Transformation of toluene and benzene by mixed methanogenic cultures / D. Grbić-Galić, T.M. Vogel // Applied and Environmental Microbiology. – 1987. – Vol. 53. – Pp. 254-260.

Grishchenkov, V.G. Degradation of petroleum hydrocarbons by facultative anaerobic bacteria under aerobic and anaerobic conditions / V.G. Grishchenkov, R.T. Townsend, T.J. McDonald, R.L. Autenrieth, J.S. Bonner, A.M. Boronin. // Processes in Biochemistry. – 2000. – Vol. 35. – Pp. 889-896.

Guo, W. *Citrobacter* sp. strain GW-M mediates the coexistence of carbonate minerals with various morphologies / W. Guo, H. Ma, F. Li, Z. Jin, J. Li, F. Ma, C. Wang // Geomicrobiology Journal. – 2013. – Vol. 30. – Iss. 8. – Pp. 749-757.

Gusek, J.J. Passive management of mining influenced water at the Haile gold mine, SC / J.J. Gusek, R. Schneider // Proc. 27th Ann. Meeting of the ASMR, Pittsburgh, June 5-11, 2010. – Pittsburgh: ASMR, 2010. – Pp. 417-432.

Gutnick, D.L. Engineering bacterial biopolymers for the biosorption of heavy metals: New products and novel formulations / D.L. Gutnick, H. Bach //

Applied Microbiology and Biotechnology. – 2000. – Vol. 54. – No. 4. – Pp. 451-460.

Hall, J.S. Environments of formation and controls on the spatial distribution of calcite cementation in Plio-Pleistocene fluvial deposits. New Mexico, U.S.A. / J.S. Hall, P.S. Mozley, J.M. Davis et al. // Journal of Sedimentary Research. – 2004. – Vol.74. – Pp. 643-653.

Hallberg, K.B. New perspectives in mine water microbiology / K.B Hallberg // Advanced Materials Research. – 2009. – Vol. 71-73. – Pp. 29-36.

Hammes, F. Strain-specific ureolytic microbial calcium carbonate precipitation / F. Hammes, N. Boon, J. de Villiers, W. Verstraete, S.D. Siciliano // Applied and Environmental Microbiology. – 2003. – Vol. 69. – Iss. 8. – Pp. 4901-4909.

Hammes, F. Key roles of pH and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation / F. Hammes, W. Verstraete // Re/Views in Environmental Science & Bio/Technology. – 2002. – Vol. 1. – Pp. 3-7.

Han, J. Induction of calcium carbonate by *Bacillus cereus* / J. Han, B. Lian, H. Ling // Geomicrobiology Journal. – 2013. – Vol. 30. – Iss. 8. – Pp. 682-689.

Han, Z. Bio-precipitation of calcite with preferential orientation induced by *Synechocystis* sp. PCC6803 / Z. Han, H. Yan, H. Zhao, S. Zhou, M. Han, X. Meng, Y. Zhang, Y. Zhao, B. Sun, C. Yao, Y. Wang, C. Wang, F. Li, C. Tian, L. Xu // Geomicrobiology Journal. – 2014. – Vol. 31. – Iss. 10. – Pp. 884-899.

Häner, A. Degradation of trimethylbenzene isomers by an enrichment culture under N₂O-reducing conditions / A. Häner, P. Höhener, J. Zeyer. // Applied and Environmental Microbiology. – 1997. – Vol. 63. – Pp. 1171-1174.

Hard, B.C. Bioremediation of acid mine water using facultatively methylotrophic metal-tolerant sulfate-reducing bacteria / B.C. Hard, S. Friedrich, W. Babel // Microbiological Research. – 1997. – Vol. 152. – Pp. 65-73.

Harvey, H.R. The effect of organic matter and oxygen on the degradation of bacterial membrane lipids in marine sediments / H.R. Harvey, R.D. Fallon, J.S. Patton // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1986. – Vol. 50. – Pp. 795-804.

He, J. Undrained responses of microbially desaturated sand under monotonic loading / J. He, J. Chu // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2014. – Vol. 140. – No. 5. – Article 04014003.

He, J., Jian Chu, Volodymyr Ivanov. Remediation of liquefaction potential of sand using the biogas method / J. He, J. Chu, V. Ivanov // *Stability and performance of slopes and embankments III: Geo-Congress 2013* / eds. C. Meehan, D. Pradel, M.A. Pando, J.F. Labuz. – 2013. – Pp. 879-887.
<http://dx.doi.org/10.1061/9780784412787>

Hedges, J.I. Global biogeochemical cycles: Progress and problems / J.I. Hedges // *Marine Chemistry*. – 1992. – Vol. 39. – Pp. 67-93.

Hedges, J.I. Origins and processing of organic matter in the Amazon River as indicated by carbohydrates and amino acids / J.I. Hedges, G.L. Cowie, J.E. Richey, P.D. Quay, R. Benner, M. Strom, B.R. Forsberg // *Limnology and Oceanography*. – 1994. – Vol. 39. – Iss. 4. – Pp. 743-761.

Hedges, J.I. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments / J.I. Hedges, J.M. Oades // *Organic Geochemistry*. – 1997. – Vol. 27. – Iss. 8. – Pp. 319-361.

Hedin, R.S. Passive treatment of acid mine drainage with limestone / R.S. Hedin, G.R. Watzlaf, R.W. Nairn // *Journal of Environmental Quality*. – 1994. – Vol. 23. – Pp. 1338-1345.

Hendry, J.P. Calcite cementation during bacterial manganese, iron and sulphate reduction in Jurassic shallow marine carbonates / J.P. Hendry // *Sedimentology*. – 1993. – Vol. 40. – No. 1. – Pp. 87-106.

Hofacker, A.F. Temperature-dependent formation of metallic copper and metal sulfide nanoparticles during flooding of a contaminated soil / A.F. Hofacker, A. Voegelin, R. Kaegi, F.-A. Weber, R. Kretzschmar // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2013. – Vol. 103. – Pp. 316-332.

Hollaway, S.L. The bacterial community composition of an active oil field in the Northwestern Gulf of Mexico / S.L. Hollaway, G.M. Faw, R.K. Sizemore // *Marine Pollution Bulletin*. – 1980. – Vol. 11. – Pp. 153-156.

Holliger, C. Contaminated environments in the subsurface and bioremediation: organic contaminants / C. Holliger, S. Gaspard, G. Glod, C. Heijman, W. Schumacher, R.P. Schwarzenbach, F. Vazquez. // FEMS Microbiology Reviews. – 1997. – Vol. 20. – No. 3-4. – Pp. 517-523.

Holmes, D.E. Anaerobic oxidation of benzene by the hyperthermophilic archaeon *Ferroglobus placidus* / D.E. Holmes, C. Risso, J.A. Smith, D.R. Lovley // Applied and Environmental Microbiology. – 2011. – Vol. 77. – No. 17. – Pp. 5926-5933.

Holowenko, F.M. Naphthenic acids and surrogate naphthenic acids in methanogenic microcosms / F.M. Holowenko, M.D. MacKinnon, P.M. Fedorak // Water Research. – 2001. – Vol. 35. – No. 11. – Pp. 2595-2606.

Horowitz, A. Sequential growth of bacteria on crude oil / A. Horowitz, D. Gutnick, E. Rosenberg // Applied Microbiology. – 1975. – Vol. 30. – Iss. 1. – Pp. 10-19.

Hudson-Edwards, K.A. Computer simulations of the interactions of the (0 1 2) and (0 0 1) surfaces of jarosite with Al, Cd, Cu²⁺ and Zn / K.A. Hudson-Edwards, K. Wright // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2011. – Vol. 75. – Pp. 52-62.

Hutchins, S.R. Effect of nitrate addition on bioremediation of fuel-contaminated aquifer: Field demonstration / S.R. Hutchins, W.C. Downs, J.T. Wilson, G.B. Smithe, D.A. Kovacs, D.D. Fine, R.H. Douglass, D.J. Hendrix // Ground Water. – 1991. – Vol. 29. – Pp. 571-580.

Ivanov, V. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil *in situ*. / V. Ivanov, J. Chu // Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology. – 2008. – Vol. 7. – Pp. 139-153.

Jäckel, U. Enhanced iron reduction by iron supplement: A strategy to reduce methane emission from paddies / U. Jäckel, S. Russo, S. Schnell // Soil Biology and Biochemistry. – 2005. – Vol. 37. – Iss. 11. – Pp. 2150-2154.

Jarusutthirak, C. Understanding soluble microbial products (SMP) as a component of effluent organic matter (EfOM) / C. Jarusutthirak, G. Amy. // *Water Research*. – 2007. – Vol. 41. – Pp. 2787-2793.

Jarvis, A.P. Effective remediation of grossly polluted acidic, and metal-rich, spoil heap drainage using a novel, low-cost, permeable reactive barrier in Northumberland, UK / A.P. Jarvis, M. Moustafa, P.H.A. Orme, P.L. Younger // *Environmental Pollution*. – 2006. – Vol. 143. – Iss. 2. – Pp. 261-268.

Jha, I.N. Removal of cadmium using chitosan / I.N. Jha, L. Iyengar, A.V.S. Prabhakara Rao // *Journal of Environmental Engineering*. – 1988. – Vol. 114. – No. 4. – Pp. 962-975.

Johnson, D.B. Biodiversity and ecology of acidophilic microorganisms / D.B. Johnson // *FEMS Microbiology Ecology*. – 1998. – Vol. 27. – Pp. 307-317.

Johnson, D.B. Pitfalls of passive mine water treatment / D.B. Johnson, K.B. Hallberg // *Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology*. – 2002. – Vol. 1. – Iss. 4. – Pp. 335-343.

Johnson, D.B. The microbiology of acidic mine waters / D.B. Johnson, K.B. Hallberg // *Research in Microbiology*. – 2003. – Vol. 154. – Iss. 7. – Pp. 466-473.

Johnson, D.B. Acid mine drainage remediation options: a review / D.B. Johnson, K.B. Hallberg // *Sciences of Total Environment*. – 2005. – Vol. 338. – Pp. 3-14.

Jones, D.L. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition / D.L. Jones, A. Hodge, Y. Kuzyakov // *The New Phytologist*. – 2004. – Vol. 163. – Pp. 459-480.

Jones, D.L. Microbial response time to sugar and amino acid additions to soil / D.L. Jones, D.V. Murphy // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – Pp. 2178-2182.

Jones, D.M. The recognition of biodegraded petroleum-derived aromatic hydrocarbons in recent marine sediments / D.M. Jones, A.G. Douglas, R.J. Parkes et al. // *Marine Pollution Bulletin*. – 1983. – Vol. 14. – Pp. 103-108.

Jones, R.I. The influence of humic substances on lacustrine planktonic food-chains / R.I. Jones // *Hydrobiologia*. – 1992. – Vol. 229. – Pp. 73-91.

Kaiser, J.-P. Microbial activity in the terrestrial subsurface / J.-P. Kaiser, J.-M. Bollag // *Experientia*. – 1990. – Vol. 46. – Pp. 797-806.

Karlsson, J. Similar relationships between pelagic primary and bacterial production in clearwater and humic lakes / J. Karlsson, M. Jansson, A. Jonsson // *Ecology*. – 2002. – Vol. 83. – Pp. 2902-2910.

Kavazanjian, E. Patent WO 2015065951. Mineral precipitation methods / Kavazanjian E., Hamdan N. – 2015.

Kawaguchi, T. A laboratory investigation of cyanobacterial extracellular polymeric secretions (EPS) in influencing CaCO_3 polymorphism / T. Kawaguchi, A.W. Decho // *Journal of Crystal Growth*. – 2002. – Vol. 240. – Pp. 230-235.

Kazumi, J. Anaerobic degradation of benzene in diverse anoxic environments / J. Kazumi, M.E. Caldwell, J.M. Suflita, D.R. Lovely, L.Y. Young // *Environmental Sciences and Technology*. – 1997. – Vol. 31. – Pp. 813-818.

Kepler, D. Wetland sizing – Design and treatment effectiveness / D. Kepler // *Proc. 7th Ann. Meeting of the ASMR, Charleston, August 23-26, 1990*. – Charleston: ASMR, 1990. – Pp. 403-408.

Khachatoorian, R. Biopolymer plugging effect: Laboratory-pressurized pumping flow studies / R. Khachatoorian, I.G. Petrisor, C-C. Kwan, T.F. Yen // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2003. – Vol. 38. – Pp. 13-21.

Khelifi, N. Anaerobic oxidation of fatty acids and alkenes by the hyperthermophilic sulfate-reducing archaeon *Archaeoglobus fulgidus* / N. Khelifi, V. Grossi, M. Hamdi, A. Dolla, J.-L. Tholozan, B. Ollivier, A. Hirschler-Réa // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2010. – Vol. 76. – No. 9. – Pp. 3057-3060.

Khmurchik, V.T. Methodological basis of ground composition and traits formation by biotechnological techniques / V.T. Khmurchik, N.G. Maksimovich, A.D. Demenev, V.V. Seredin // *In: Science and Global Challenges of the 21st*

Century - Science and Technology (Isaeva E., Rocha A., Eds.), – Perm, 2021. – Pp. 186-193.

Kilborn, Inc. Review of passive systems for treatment of acid mine drainage. Phase II. Prepared for MEND Program. Report # 3.14.1. – Kilborn, Inc., 1996. – 197 p.

Kile, D.E. An assessment of calcite crystal growth mechanisms based on crystal size distributions / D.E. Kile, D.D. Eberl, A.R. Hoch, M.M. Reddy // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2000. – Vol. 64. – Iss. 17. – Pp. 2937-2950.

Kim, D.-H. An environmentally friendly soil improvement technology with microorganism / D.-H. Kim, K.-H. Park // *International Journal of Railways*. – 2013. – Vol. 6. – No. 3. – Pp. 90-94.

Kjeldsen, K.U. Effects of oxygen exposure on respiratory activities of *Desulfovibrio desulfuricans* strain DvO1 isolated from activated sludge / K.U. Kjeldsen, C. Joulain, K. Ingvorsen // *FEMS Microbiology Ecology*. – 2005. – Vol. 53. – Pp. 275-284.

Kleikemper, J. Sulfate-reducing bacterial community response to carbon source amendments in contaminated aquifer microcosms / J. Kleikemper, O. Pelz, M.H. Schroth, J. Zeyer // *FEMS Microbiology Ecology*. – 2002b. – Vol. 42. – Iss. 1. – Pp. 109-118.

Kleikemper, J. Activity and diversity of sulfate-reducing bacteria in a petroleum hydrocarbon-contaminated aquifer / J. Kleikemper, M.H. Schroth, W.V. Sigler, M. Schmucki, S.M. Bernasconi, J. Zeyer // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2002a. – Vol. 68. – No. 4. – Pp. 1516-1523.

Klüber, H.D. Effects of nitrate, nitrite, NO and N₂O on methanogenesis and other redox processes in anoxic rice field soil / H.D. Klüber, R. Conrad // *FEMS Microbiology Ecology*. – 1998. – Vol. 25. – Pp. 301-318.

Kniemeyer, O. Anaerobic degradation of ethylbenzene by a new type of marine sulfate-reducing bacterium / O. Kniemeyer, T. Fischer, H. Wilkes, F.O. Glockner, F. Widdel // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2003. – Vol. 69. – Iss. 2. – Pp. 760-768.

Koike, I. Role of sub-micrometre particles in the ocean / I. Koike, S. Ham, K. Terauchi, K. Kogure // *Nature*. – 1990. – Vol. 345. – Pp. 242-244.

Konhauser, K.O. Bacterial clay authigenesis: A common biogeochemical process / K.O. Konhauser, M.M. Urrutia // *Chemical Geology*. – 1999. – Vol. 161. – Pp. 399-413.

Konishi, Y. Bacterial dissolution of pyrite by *Thiobacillus ferrooxidans* / Y. Konishi, S. Asai, H.K. Sakai // *Bioprocesses in Engineering*. – 1990. – Vol. 5. – Pp. 5-17.

Koschorreck, M. Functions of straw for in-situ remediation of acidic mining lakes / M. Koschorreck, R. Frommichen, P. Herzsprung, J. Tittel, K. Wendt-Potthoff // *Water, Air and Soil Pollution Focus*. – 2002. – Vol. 2. – Pp. 97-109.

Kosyakov, V.N. Utilization of chitin-chitosan biosorbents for environmental deactivation and radioactive waste management / V.N. Kosyakov, N.G. Yakovlev, L.F. Gorovoj // *NATO Advanced Science Institutes Series*. – 1997. – Ser. 2. – Vol. 34. – Pp. 119-131.

Kotsyurbenko, O.R. Shift from acetoclastic to H₂-dependent methanogenesis in a West Siberian peat bog at low pH values and isolation of an acidophilic *Methanobacterium* strain / O.R. Kotsyurbenko, M.W. Friedrich, M.V. Simankova, A.N. Nozhevnikova, P.N. Golyshin, K.N. Timmis, R. Conrad // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2007. – Vol. 73. – No. 7. – Pp. 2344-2348.

Kralj, D. The influence of some naturally occurring minerals on the precipitation of calcium carbonate polymorphs / D. Kralj, N. Vdović // *Water Research*. – 2000. – Vol. 34. – Iss. 1. – Pp. 179-184.

Krieger, C.J. Initial reactions in anaerobic oxidation of *m*-xylene by the denitrifying bacterium *Azoarcus* sp. strain T. / C.J. Krieger, H.R. Beller, M. Reinhard, A.M. Spormann // *Journal of Bacteriology*. – 1999. – Vol. 181. – Iss. 20. – Pp. 6403-6410.

Kropp, K.G. Anaerobic oxidation of n-dodecane by an addition reaction in a sulfate-reducing bacterial enrichment culture / K.G. Kropp, I.A. Davidova, J.M.

Suflita // Applied and Environmental Microbiology. – 2000. – Vol. 66. – Iss. 12. – Pp. 5393-5398.

Kucharski, E.S. Patent US 8182604. Microbial biocementation. / Kucharski E.S., Cord-Ruwisch R., Whiffin V., Al-Thawadi S.M. – 2012.

Küsel, K. Microbial cycling of iron and sulfur in acidic coal mining lake sediments / K. Küsel // Water, Air and Soil Pollution. – 2003. – Vol. 3. – Pp. 67-90.

Kuyucak, N., St-Germain P. *In situ* treatment of acid mine drainage by sulphate reducing bacteria in open pits: Scale-up experiences / N. Kuyucak, P. St-Germain // Proc. 11th Ann. Meeting of the ASMR, Pittsburgh, April 24-29, 1994. – Pittsburgh: ASMR, 1994. – Pp. 303-310.

Langenhoff, A.A.M. Microbial reduction of manganese coupled to toluene oxidation / A.A.M. Langenhoff, D.L. Brouwers-Ceiler, J.H.L. Engelberting, J.J. Quist, J.G.P.N. Wolkenfelt, A.J.B. Zehnder, G. Schraa // FEMS Microbiology Ecology. – 1997. – Vol. 22. – Pp. 119-127.

Langenhoff, A.A.M. Behavior of toluene, benzene and naphthalene under anaerobic conditions in sediment columns / A.A.M. Langenhoff, A.J.B. Zehnder, G. Schraa // Biodegradation. – 1996. – Vol. 7. – Pp. 267-274.

Le Gall, J. Anaerobes response to oxygen: the sulfate-reducing bacteria / J. Le Gall, A.V. Xavier // Anaerobe. – 1996. – Vol. 2. – Iss. 1. – Pp. 2-9.

Leahy, J.G. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment / J.G. Leahy, R.R. Colwell // Microbiological Reviews. – 1990. – Vol. 54. – No. 3. – Pp. 305-315.

Lee, J. Strength characteristics of soils mixed with an organic acid material for improvement / J. Lee, K. Kim, B. Chun // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2012. – Vol. 24. – No. 12. – Pp. 1529-1533.

Lee, J.-Y. Hydrologic characteristics of a large rockfill dam: Implications for water leakage / J.-Y.Lee, Y.-K.Choi, H.-S.Kim, S.-T. Yun // Engineering Geology. – 2005. – Vol. 80. – No. 1-2. – Pp. 43-59.

Li, Y. Subsurface application of *Alcaligenes eutrophus* for plugging of porous media / Y. Li, I.C.-Y. Yang, K.-I. Lee, T.F. Yen // Microbial enhanced oil recovery — Recent advances / eds. E.T. Premuzic, A. Woodhead. — Amsterdam: Elsevier, 1993. — Pp. 65-77.

Liamleam, W. Electron donors for biological sulfate reduction / W. Liamleam, A.P. Annachhatre // Biotechnology Advances. — 2007. — Vol. 25. — Iss. 5. — Pp. 452-463.

Lindsay, M.B.J. Microbiology and geochemistry of mine tailings amended with organic carbon for passive treatment of pore water / M.B.J. Lindsay, K.D. Wakeman, O.F. Rowe, B.M. Grail, C.J. Ptacek, D.W. Blowes, D.B. Johnson // Geomicrobiology Journal. — 2011. — Vol. 28. — Iss. 3. — Pp. 229-241.

Liu, F. Discussion on the formation and quality type of acidic gob water / F. Liu // Procedia Earth and Planetary Science. — 2011. — Vol. 3. — Pp. 364-369.

Lovley, D.R. Microbial Fe(III) reduction in subsurface sediments / D.R. Lovley // FEMS Microbiology Reviews. — 1997. — Vol. 20. — Iss. 3-4. — Pp. 305-313.

Lovley, D.R. Anaerobes to the rescue / D.R. Lovley // Science. — 2001. — Vol. 293. — Pp. 1444-1446.

Lovley, D.R. Cleaning up with genomics: Applying molecular biology to bioremediation / D.R. Lovley // Nature Reviews in Microbiology. — 2003. — Vol. 1. — Iss. 1. — Pp. 35-44.

Lovley, D.R. Oxidation of aromatic contaminants coupled to microbial iron reduction / D.R. Lovley, M.J. Baedeker, D.J. Lonergan, I.M. Cozarelli, E.J.P. Phillips, D.I. Siegel // Nature. — 1989. — Vol. 339. — Pp. 297-299.

Lovley, D.R. Anaerobic oxidation of toluene, phenol and p-cresol by the dissimilatory iron-reducing organism GS-15. / D.R. Lovley, D.J. Lonergan // Applied and Environmental Microbiology. — 1990. — Vol. 56. — Iss. 6. — Pp. 1858-1864.

Lovley, D.R. Organic matter mineralization with reduction of ferric iron in anaerobic sediments. / D.R. Lovley, E.J.P. Phillips // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1986. – Vol. 51. – No. 4. – Pp. 683-689.

Lovley, D.R. Competitive mechanisms for inhibition of sulfate reduction and methane production in the zone of ferric iron reduction in sediments. / D.R. Lovley, E.J.P. Phillips // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1987. – Vol. 53. – No. 11. – Pp. 2636-2641.

Lovley, D.R. Novel mode of microbial energy metabolism: Organic carbon oxidation coupled to dissimilatory reduction of iron or manganese / D.R. Lovley, E.J.P. Phillips // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1988. – Vol. 54. – No. 6. – Pp. 1472-1480.

Lueders, T. Effects of amendment with ferrihydrite and gypsum on the structure and activity of methanogenic populations in rice field soil / T. Lueders, M.W. Friedrich // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2002. – Vol. 68. – Iss. 5. – Pp. 2484-2494.

Luptakova, A. Physical-chemical and biological-chemical methods for treatment of acid mine drainage / A. Luptakova, S. Ubaldini, P. Fornari, E. Macingova // *Chemical Engineering Transactions*. – 2012. – Vol. 28. – Pp. 115-120.

Maksimovich, N. The use of industrial alkaline wastes to neutralise acid drain water from waste rock piles / N. Maksimovich, V. Khmurchik, O. Meshcheriakova, A. Demenev, O. Berezina // *Mine water solutions: Proc. of the postponed 14th IMWA Congr., Christchurch, 9-13 November, 2020* / eds. Pope J., Wolkersdorfer C., Sartz L., Weber A., Wolkersdorfer K. – Christchurch: IMWA, 2020. – Pp. 117-122.

Malcolm, R.L. The uniqueness of humic substances in each of soil, stream and marine environments / R.L. Malcolm // *Analitica Chimica Acta*. – 1990. – Vol. 232. – Pp. 19-30.

Marschall, C. Influence of oxygen on sulfate reduction and growth of sulfate-reducing bacteria / C. Marschall, P. Frenzel, H. Cypionka // Archives of Microbiology. – 1993. – Vol. 159. – Iss. 2. – Pp. 168-173.

Marschner, B. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils / B. Marschner, K. Kalbitz // Geoderma. – 2003. – Vol. 113. – Pp. 211-235.

McConnaughey, T.A. Calcification generates protons for nutrient an bicarbonate uptake / T.A. McConnaughey, F.F. Whelan // Earth-Science Reviews. – 1997. – Vol. 42. – Pp. 95-117.

McInerney, M.J. Patent US 4558739. Situ microbial plugging process for subterranean formations / McInerney M.J., Jenneman G.E., Knapp R.M., Menzie D.E. – 1985.

McIsaac, R. Clogging of gravel drainage layers permeated with landfill leachate / R. McIsaac, R.K. Rowe // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2007. – Vol. 133. – Iss. 8. – Pp. 1026-1039.

McMahon, P.B. Redox processes and water quality of selected principal aquifer systems / P.B. McMahon, F.H. Chapelle // Ground Water. – 2008. – Vol. 46. – No. 2. – Pp. 259-271.

Mechichi, T. Phylogenetic and metabolic diversity of bacteria degrading aromatic compounds under denitrifying conditions, and description of *Thauera phenylacetica* sp. nov., *Thauera aminoaromatica* sp. nov., and *Azoarcus buckelii* sp. nov. / T. Mechichi, E. Stackebrandt, N.G.G. Fuchs // Archives of Microbiology. – 2002. – Vol. 178. – Iss. 1. – Pp. 26-35.

Meckenstock, R.U. Fermentative toluene degradation in anaerobic defined syntrophic cocultures / R.U. Meckenstock // FEMS Microbiology Letters. – 1999. – Vol. 177. – Pp. 67-73.

Meckenstock, R.U. Anaerobic naphthalene degradation by a sulfate-reducing enrichment culture / R.U. Meckenstock, E. Annweiler, W. Michaelis, H.H. Richnow, B. Schink // Applied and Environmental Microbiology. – 2000. – Vol. 66. – Pp. 2743-2747.

Melchiorre, E. Microbiological evidence for the origin of acid mine drainage at the Green Valley Site, Vigo County, and Friar Tuck Site, Greene County, Indiana, USA / E. Melchiorre // *Mine Water and the Environment*. – 2011. – Vol. 30. – Pp. 175-184.

Melling, L. Methane fluxes from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia / L. Melling, R. Hatano, K.J. Goh // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2005. – Vol. 37. – Pp. 1445-1453.

Mills, A.L. The role of bacteria in environmental geochemistry / A.L. Mills // *Reviews in Economic Geology*. – 1999. – Vol. 6. – Pp. 125-132.

Mitchell, A.C. The influence of *Bacillus pasteurii* on the nucleation and growth of calcium carbonate / A.C. Mitchell, F.G. Ferris // *Geomicrobiology Journal*. – 2006. – Vol. 23. – Iss. 3-4. – Pp. 213-226.

Mitchell, J.K. Biological considerations in geotechnical engineering / J.K. Mitchell, J.C. Santamarina // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2005. – Vol. 131. – No. 10. – Pp. 1222-1233.

Mobley, H.L.T. Microbial ureases: significance, regulation and molecular characterization/ H.L.T. Mobley, R.P. Hausinger // *Microbiological Reviews*. – 1989. – Vol. 53. – Pp. 85-108.

Mobley, H.L.T. Molecular biology of microbial ureases / H.L.T. Mobley, M.D. Island, R.P. Hausinger // *Microbiological Reviews*. – 1995. – Vol. 59. – Pp. 451-480.

Molenaar, N. Calcium carbonate cementation of sand: A method for producing artificially cemented samples for geotechnical testing and a comparison with natural cementation process / N. Molenaar, A.A.M. Venmans // *Engineering Geology*. – 1993. – Vol. 35. – Pp. 103-122.

Monard, C. Short-term response of soil bacteria to carbon enrichment in different soil microsites / C. Monard, F. Binet, P. Vandenkoornhuyse // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2008. – Vol. 74. – Iss. 17. – Pp. 5589-5592.

Moran, M.A. Support of bacterioplankton production by dissolved humic substances from three marine environments / M.A. Moran, R.E. Hodson // *Marine Ecology. Progress Series.* – 1994. – Vol. 110. – Pp. 241-247.

Mortensen, B.M. Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation / B.M. Mortensen, M.J. Haber, J.T. DeJong, L.F. Caslake, D.C. Nelson // *Journal of Applied Microbiology.* – 2011. – Vol. 111. – Pp. 338-349.

Mulkins-Phillips, G.J. Distribution of hydrocarbon-utilizing bacteria in northwestern Atlantic waters and coastal sediments / G.J. Mulkins-Phillips, J.E. Stewart // *Canadian Journal of Microbiology.* – 1974. – Vol. 20. – Pp. 955-962.

Münster, U. Concentrations and fluxes of organic carbon substrates in the aquatic environment / U. Münster // *Antonie van Leeuwenhoek International Journal.* – 1993. – Vol. 63. – Pp. 243-274.

Muyzer, G. The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria / G. Muyzer, A.J.M. Stams // *Nature Reviews in Microbiology.* – 2008. – Vol. 6. – Pp. 441-454.

Nemati, M. Modification of porous media permeability, using calcium carbonate produced enzymatically *in situ* / M. Nemati, G. Voordouw // *Enzyme and Microbial Technology.* – 2003. – Vol. 33. – Iss. 5. – Pp. 635-642.

Nordström, D.K. Geochemistry of acid mine waters / D.K. Nordström, C.N. Alpers // *The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques and health issues.* / eds. G.S. Plumlee, M.J. Logsdon. – *Reviews in Economic Geology.* – Society of Economic Geologists, Inc., 1999. – Vol. 6A. – Pp. 133-160.

Nordström, D.K. Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation / D.K. Nordström, G. Southam // *Geomicrobiology: Interactions between microbes and minerals* / eds. J.F. Banfield, K.H. Nealson. – Mineralogical Society of America, 1999. – Vol. 35. – Pp. 361-390.

Nugent, R.A. The effect of exopolymers on the compressibility of clays / R.A. Nugent, G. Zhang, R.P. Gambrell // *Geo-Frontiers.* – 2011. – Pp. 3935-3944.

Opsahl, S. Distribution and cycling of terrigenous dissolved organic matter in the ocean / S. Opsahl, R. Benner // *Nature*. – 1997. – Vol. 386. – Pp. 480-482.

Oremland, R.S. Use of “specific” inhibitors in biogeochemistry and microbial ecology / R.S. Oremland, D.G. Capone // *Advances in Microbial Ecology*. – 1988. – Vol. 10. – Pp. 285-383.

Ourisson, G. The microbial origin of fossil fuels / G. Ourisson, P. Albrecht, M. Rohmer // *Scientific American*. – 1984. – Vol. 251. – No. 2. – Pp. 44-51.

Pakulski, J.D. Abundance and distribution of carbohydrates in the ocean / J.D. Pakulski, R. Benner // *Limnology and Oceanography*. – 1994. – Vol. 39. – Iss. 4. – Pp. 930-940.

Pedersen, K. The deep subterranean biosphere / K. Pedersen // *Earth-Science Reviews*. – 1993. – Vol. 34. – Pp. 243-260.

Pedersen, K. Microbial life in deep granitic rock / K. Pedersen // *FEMS Microbiology Reviews*. – 1997. – Vol. 20. – Iss. 3-4. – Pp. 399-414.

Pedersen, K. Exploration of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives / K. Pedersen // *Microbiological Letters*. – 2000. – Vol. 185. – Pp. 9-16.

Peris Mora, E. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials / E. Peris Mora // *Building and Environment*. – 2007. – Vol. 42. – Pp. 1329-1334.

Phelps, C.D. Anaerobic biodegradation of BTEX and gasoline in various aquatic sediments / C.D. Phelps, L.Y. Young // *Biodegradation*. – 1999. – Vol. 10. – Pp. 15-25.

Phelps, T.J. Comparison between geochemical and biological estimates of subsurface microbial activities / T.J. Phelps, E.M. Murphy, S.M. Pfiffner, D.C. White // *Microbial Ecology*. – 1994. – Vol. 28. – Pp. 335-349.

Phillips, A.J. Engineered applications of ureolytic biomineralization: a review / A.J. Phillips, R. Gerlach, E. Lauchnor, A.C. Mitchell, A.B. Cunningham, L. Spangler // *Biofouling*. – 2013. – Vol. 29. – No. 6. – Pp. 715-733.

Plumlee, G.S. Geologic controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types / G.S. Plumlee, K.S. Smith, M.R. Montour, W.H. Ficklin, E.L. Mosier // The environmental geochemistry of mineral deposits. Part B: Case studies and research topics / eds. L.H. Filipek, G.S. Plumlee. – Reviews in Economic Geology. – Society of Economic Geologists, Inc., 1999. – Vol. 6B. – Pp. 373-432.

Porcino, D. Undrained cyclic response of a silicate-grouted sand for liquefaction mitigation purposes / D. Porcino, V. Marcianò, R. Granata // Geomechanics and Geoengineering: An International Journal. – 2011. – Vol. 6. – Iss. 3. – Pp. 155-170.

Porcino, D. Static and dynamic properties of a lightly cemented silicate-grouted sand / D. Porcino, V. Marcianò, R. Granata // Canadian Geotechnical Journal. – 2012. – Vol. 49. – Pp. 1117-1133.

Praharaj, T. Indicators of microbial sulfate reduction in acidic sulfide-rich mine tailings / T. Praharaj, D. Fortin // Geomicrobiology Journal. – 2004. – Vol. 21. – Pp. 457-467.

Pritchard, P.H. Use of inoculation in bioremediation / P.H. Pritchard // Current Opinion in Biotechnology. – 1992. – Vol. 3. – Iss. 3. – Pp. 232-243.

Qian, C.X. Corrosion protection of cement-based building materials by surface deposition of CaCO_3 by *Bacillus pasteurii* / C.X. Qian, J.Y. Wang, R.X. Wang, et al. // Material Science and Engineering. C. Biomimetic and Supramolecular Systems. – 2009. – Vol. 29. – Pp. 1273-1280.

Rabus, R. Anaerobic initial reaction of n-alkanes in a denitrifying bacterium: Evidence for (1-methylpentyl)succinate as initial product and for improvement of an organic radical in n-hexane metabolism / R. Rabus, H. Wilkes, A. Behrends, A. Armstroff, T. Fischer, A.J. Pierik, F. Widdel. // Journal of Bacteriology. – 2001. – Vol. 183. – Iss. 5. – Pp. 1707-1715.

Rebata-Landa, V. Mechanical effects of biogenic nitrogen gas bubbles in soils / V. Rebata-Landa, J.C. Santamarina // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2012. – Vol. 138. – No. 2. – Pp. 128-137.

Redden, G. CaCO₃ precipitation, transport and sensing in porous media with *in situ* generation of reactants / G. Redden, D. Fox, C. Zhang, Y. Fujita, L. Guo, H. Huang // Environmental Science and Technology. – 2014. – Vol. 48. – Pp. 542-549.

Reeder, M.D. Assessment of two field-scale sulfate reducing bioreactors using sulfur isotopes / M.D. Reeder, T.D. Branam, G.A. Olyphant // Proc. 27th Ann. Meeting of the ASMR, Pittsburgh, June 5-11, 2010. – Pittsburgh: ASMR, 2010. – Pp. 813-827.

Reisfeld, A. Microbial degradation of crude oil: Factors affecting the dispersion in sea water by mixed and pure cultures / A. Reisfeld, E. Rosenberg, D. Gutnick // Applied Microbiology. – 1972. – Vol. 24. – No. 3. – Pp. 363-368.

Repeta, D.J. Chemical characterization of high molecular weight dissolved organic matter in fresh and marine waters / D.J. Repeta, T.M. Quan, L.I. Aluwihare, A. Accardi // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2002. – Vol. 66. – Pp. 955-962.

Rittmann, B.E. Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology / B.E. Rittmann // Trends in Biotechnology. – 2006. – Vol. 24. – Iss. 6. – Pp. 261-266.

Rivadeneyra M.A. Carbonate and phosphate precipitation by *Chromohalobacter marismortui* / M.A. Rivadeneyra, A. Martín-Algarra, A. Sánchez-Navas, J.D. Martín-Ramos // Geomicrobiology Journal. – 2006. – Vol. 23. – Pp. 89-101.

Rivadeneyra, M.A. Amorphous Ca-phosphate precursors for Ca-carbonate biominerals mediated by *Chromohalobacter marismortui* / M.A. Rivadeneyra, A. Martín-Algarra, M. Sánchez-Román, A. Sánchez-Navas, J.D. Martín-Ramos // The ISME Journal. – 2010. – Vol. 4. – Pp. 922-932.

Robertson, W.J. *Desulfosporosinus meridiei* sp nov., a spore-forming sulfate-reducing bacterium isolated from gasoline-contaminated groundwater / W.J. Robertson, J.P. Bowman, P.D. Franzmann, B.J. Mee // International Journal

of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2001. – Vol. 51. – Part 1. – Pp. 133-140.

Roden, E.E. Diversion of electron flow from methanogenesis to crystalline Fe(III) oxide reduction in carbon-limited cultures of wetland sediment microorganisms / E.E. Roden // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2003. – Vol. 69. – Iss. 9. – Pp. 5702-5706.

Roden, E.E. Competition between Fe(III)-reducing and methanogenic bacteria for acetate in iron-rich freshwater sediments / E.E. Roden, R.G. Wetzel // *Microbial Ecology*. – 2003. – Vol. 45. – Pp. 252-258.

Romankevich, E.A. Geochemistry of organic matter in the ocean / E.A. Romankevich. – Springer, 1984.

Rong, H. Binding functions of microbe cement / H. Rong, C.-X. Qian // *Advanced Engineering Materials*. – 2015. – Vol. 17. – No. 3. – Pp. 334-340.

Rong, H. A cementation method of loose particles based on microbe-based cement / H. Rong, C.-X. Qian, R.-X. Wang // *Science China. Technological Sciences*. – 2011. – Vol. 54. – No. 7. – Pp. 1722-1729.

Rontani, J.-F. Aerobic and anaerobic metabolism of squalene by a denitrifying bacterium isolated from marine sediment / J.-F. Rontani, A. Mouzdahir, V. Michotey, P. Bonin // *Archives of Microbiology*. – 2002. – Vol. 178. – Iss. 4. – Pp. 279-287.

Rooney-Varga, J.N. Microbial communities associated with anaerobic benzene degradation in a petroleum-contaminated aquifer / J.N. Rooney-Varga, R.T. Anderson, J.L. Fraga, D. Ringelberg, D.R. Lovley // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1999. – Vol. 65. – Pp. 3056-3063.

Rose, A.W. Advances in passive treatment of coal mine drainage 1998-2009 / A.W. Rose // *Proc. 27th Ann. Meet. of the ASMR, Pittsburgh, June 5-11, 2010*. – Pittsburgh: ASMR, 2010. – Pp. 847-887.

Rosenberg, E. Petroleum bioremediation - a multiphase problem / E. Rosenberg, R. Legmann, A. Kushmaro, R. Taube, E. Adler, E.Z. Ron // *Biodegradation*. – 1992. – Vol. 3. – Pp. 337-350.

Rosenberg, M. Hydrophobic interactions: role in bacterial adhesion / M. Rosenberg, S. Kjelleberg // *Advances in microbial ecology* / ed. Marshall K.C. – New York, London: Plenum Press, 1986. – Vol. 9. – Pp. 353-393.

Rueter, P. Anaerobic oxidation of hydrocarbons in crude oil by denitrifying bacteria / P. Rueter, R. Rabus, H. Wilkes, F. Aeckersberg, F.A. Rainey, H.W. Jannasch, F. Widdel // *Nature*. – 1994. – Vol. 372. – Pp. 455-458.

Ruiz-Agudo, E. Effect of pH on calcite growth at constant $a\text{Ca}^{2+}/a\text{CO}_3^{2-}$ ratio and supersaturation / E. Ruiz-Agudo, C.V. Putnis, C. Rodriguez-Navarro, A. Putnis // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2011. – Vol. 75. – No. 1. – Pp. 284-296.

Sadeghi, M.M. Parameters effects evaluation of microbial strengthening of sandy soils in mixing experiments using taguchi methodology / M.M. Sadeghi, A.R. Modarresnia, F. Shafiei // *Geomicrobiology Journal*. – 2015. – Vol. 32. – No. 5. – Pp. 453-465.

Sánchez-Navas, A. Crystal-growth behaviour Ca–Mg carbonate bacterial spherulites / A. Sánchez-Navas, A. Martín-Algarra, M.A. Rivadeneyra, S. Melchor, J.D. Martín-Ramos // *Crystal Growth and Design*. – 2009. – Vol. 9. – Pp. 2690-2699.

Sánchez-Román, M. Aerobic microbial dolomite at the nanometer scale: implications for the geologic record / M. Sánchez-Román, C. Vasconcelos, T. Schmid, M. Dittrich, J.A. McKenzie, R. Zenobi, M.A. Rivadeneyra // *Geology*. – 2008. – Vol. 36. – Iss. 11. – Pp. 879-882.

Sand, W. Sulfur chemistry, biofilm, and the (in)direct attack mechanism – a critical evaluation of bacterial leaching / W. Sand, T. Gerke, R. Hallmann, A. Schippers // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 1995. – Vol. 43. – Pp. 961-966.

Saxena, S.K. Static properties of lightly cemented sands / S.K. Saxena, R.M. Lastrico // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 1978. – Vol. 104. – No. 12. – Pp. 1449-1464.

Schafer, H. Microbial community dynamics in Mediterranean nutrient-enriched seawater mesocosms: changes in the genetic diversity of bacterial populations / H. Schafer, L. Bernard, C. Courties, et al. // FEMS Microbiology Ecology. – 2001. – Vol. 34. – Pp. 243-253.

Schippers, A. Microbial diversity in uranium mine waste heaps / A. Schippers, R. Hallmann, S. Wentzien, W. Sand // Applied and Environmental Microbiology. – 1995. – Vol. 61. – Pp. 2930-2935.

Schippers, A. Sulfur chemistry in bacterial leaching of pyrite / A. Schippers, P.-G. Jozsa, W. Sand // Applied and Environmental Microbiology. – 1996. – Vol. 62. – Pp. 3424-3431.

Schippers, A. Bacterial leaching of metal sulfides proceeds by two indirect mechanisms via thiosulfate or via polysulfides and sulfur / A. Schippers, W. Sand // Applied and Environmental Microbiology. – 1999. – Vol. 65. – Pp. 319-321.

Schrier-Uijs, A.P. Release of CO₂ and CH₄ from lakes and drainage ditches in temperate wetlands / A.P. Schrier-Uijs, A.J. Veraart, P.A. Leffelaar, F. Berendse, E.M. Veenendaal // Biogeochemistry. – 2011. – Vol. 102. – Pp. 265-279.

Schroeder, R.A. A review of the geochemical applications of the amino acid racemization reaction / R.A. Schroeder, L.J. Bada // Earth-Science Reviews. – 1976. – Vol. 12. – Pp. 347-391.

Seifert, A.-G. Variable effects of plant colonization on black slate uptake into microbial PLFAs / A.-G. Seifert, S. Trumbore, X. Xu, D. Zhang, G. Gleixner // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2013. – Vol. 106. – Pp. 391-403.

Sel, I. Bacteria-induced cementation process in loose sand medium / I. Sel, H.B. Ozhan, R. Cibik, E. Buyukcangaz // Marine Georesources and Geotechnology. – 2015. – Vol. 33. – No. 5. – Pp. 403-407.

Sham, E. Monitoring bacterially induced calcite precipitation in porous media using magnetic resonance imaging and flow measurements / E. Sham, M.D. Mantle, J. Mitchell, D.J. Tobler, V.R. Phoenix, M.L. Johns // Journal of Contaminant Hydrology. – 2013. – Vol. 152. – Pp. 35-43.

Shelobolina, E.S. Importance of clay size minerals for Fe(III) respiration in a petroleum-contaminated aquifer / E.S. Shelobolina, R.T. Anderson, Y.N. Vodyanitskii, A.V. Sivtsov, R. Yuretich, D.R. Lovley // *Geobiology*. – 2004. – Vol. 2. – Iss. 1. – Pp. 67-76.

Shi, T. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Sphingomonas* strains isolated from the terrestrial subsurface / T. Shi, J.K. Fredrickson, D.L. Balkwill // *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. – 2001. – Vol. 26. – Iss. 5. – Pp. 283-289.

Silva, A.M. Mine water treatment with limestone for sulfate removal / F.M. Silva, R.M.F. Lima, V.A. Leao // *Journal of Hazardous Materials*. – 2012. – Vol. 221-222. – Pp. 45-55.

Silverman, M.P. Microbial formation and degradation of minerals / M.P. Silverman, H.K. Ehrlich // *Advances in Applied Microbiology*. – 1964. – Vol. 6. – Pp. 153-206.

Singer, A.C. Perspectives and vision for strain selection in bioaugmentation / A.C. Singer, C.J. van der Gast, I.P. Thompson // *Trends in Biotechnology*. – 2005. – Vol. 23. – Iss. 2. – Pp. 74-77.

Singer, P.C. Acidic mine drainage: The rate-determining step / P.C. Singer, W. Stumm // *Science*. – 1970. – Vol. 167. – Pp. 1121-1123.

Skousen, J.G. A handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage / J.G. Skousen, A. Rose, G. Geidel, J. Foreman, R. Evans, W. Hellier, members of the Avoidance and Remediation Working Group. – The National Mine Land Reclamation Centre, West Virginia University, 1998. – 131 p.

Skousen, J. Review of passive systems for acid mine drainage treatment / J. Skousen, C. Zippe, A. Rose, P. Ziemkiewicz, R. Nairn, L. McDonald, R. Kleinmann // *Mine Water and the Environment*. – 2017. – Vol. 36. – Pp. 133-153.

Smith, G.A. Quantitative characterization of microbial biomass and community structure in subsurface material: a prokaryotic consortium responsive to organic contamination / G.A. Smith, J.S. Nickels, B.D. Kerger, J.D. Davis, C.P.

Collins, J.T. Wilson, J.F. McNabb, D.C. White // Canadian Journal of Microbiology. – 1986. – Vol. 32. – Pp. 104-111.

Smolenski, W.J. Biodegradation of cresol isomers in anoxic aquifers / W.J. Smolenski, J.M. Suftita // Applied and Environmental Microbiology. – 1987. – Vol. 53. – Pp. 710-716.

So, C.M. Anaerobic transformation of alkanes to fatty acids by a sulfate-reducing bacterium, strain *Hxd3* / C.M. So, C.D. Phelps, L.Y. Young // Applied and Environmental Microbiology. – 2003. – Vol. 69. – Iss. 7. – Pp. 3892-3900.

So, C.M. Anaerobic biodegradation of alkanes by enriched consortia under four different reducing conditions / C.M. So, L.Y. Young // Environment Toxicology and Chemistry. – 2001. – Vol. 20. – Pp. 473-478.

Sondi, I. Homogeneous precipitation of calcium carbonates by enzyme catalyzed reaction / I. Sondi, E. Matijevic // Journal of Colloid Interface Science. – 2001. – Vol. 238. – Pp. 208-214.

Stabnikov, V. Halotolerant, alkaliphilic urease-producing bacteria from different climate zones and their application for biocementation of sand / V. Stabnikov, J. Chu, V. Ivanov, Y. Li // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 29. – Pp. 1453-1460.

Stahl D.A. Origins and diversification of sulfate-respiring microorganisms / D.A. Stahl, S. Fishbain, M. Klein, B.J. Baker, M. Wagner // Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology. – 2002. – Vol. 81. – Iss. 1-4. – Pp. 189-195.

Stark, L. Iron loading, efficiency, and sizing in a constructed wetland receiving mine drainage / L. Stark, E. Stevens, H. Webster, W. Wenerick // Proc. 7th Ann. Meeting of the ASMR, Charleston, August 23-26, 1990. – Charleston: ASMR, 1990. – Pp. 393-402.

Stevens, T.O. Lithoautotrophy in the subsurface / T.O. Stevens // FEMS Microbiology Reviews. – 1997. – Vol. 20. – No. 3-4. – Pp. 327-337.

Stocks-Fisher, S. Microbiological precipitation of CaCO_3 / S. Stocks-Fisher, J.K. Galinat, S.S. Bang // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1999. – Vol. 31. – No. 11. – Pp. 1563-1571.

Sukola, K. Metal–sulfide species in oxic waters / K. Sukola, F.Y. Wang, A. Tessier // *Analitica Chimica Acta*. – 2005. – Vol. 528. – Pp. 183-195.

Swannell, R.P.J. Field evaluations of marine oil spill bioremediation / R.P.J. Swannell, K. Lee, M. McDonagh // *Microbiological Reviews*. – 1996. – Vol. 60. – No. 2. – Pp. 342-365.

Swart, C.J.U. Subsurface grout barriers for ground stabilization in dolomite areas near Carletonville, South Africa / C.J.U. Swart, A. van Schalkwyk // *Environmental Geology*. – 2001. – Vol. 40. – No. 4-5. – Pp. 592-601.

Ta, H.X. Preliminary study of geophysical monitoring of bioclogging caused by bacterial biopolymer accumulation in sands / H.X. Ta, T.-H. Kwon, B. Muhunthan // *Geo-Congress 2014. Technical Papers: Geo-characterization and modeling for sustainability* / eds. M. Abu-Farsakh, L.R. Hoyos. – 2014. – Pp. 1654-1663.

Taylor, B.E. Isotope composition of sulphate in acid mine drainage as measure of bacterial oxidation / B.E. Taylor, M.C. Wheeler, D.K. Nordström // *Nature*. – 1984a. – Vol. 308. – Pp. 538-541.

Taylor, B.E. Stable isotope geochemistry of acid mine drainage: Experimental oxidation of pyrite / B.E. Taylor, M.C. Wheeler, D.K. Nordström // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1984b. – Vol. 48. – Pp. 2669-2678.

Tebo, B.M. Bacterially-mediated mineral formation: Insights into manganese (II) oxidation from molecular genetic and biochemical studies / B.M. Tebo, W.C. Ghiorse, L.G. van Waasbergen, P.L. Seiring, R. Caspi // eds. J.F. Banfield, K.H. Nealson // *Geomicrobiology: interactions between microbes and minerals. Reviews in Mineralogy*. – Washington, D.C.: Mineralogical Society of America, 1997. – Vol. 35. – Pp. 225-260.

Teterin, Y.A. Physico-chemical and adsorption properties of bio-sorbents and mechanisms of their interaction with radionuclides / Y.A. Teterin // NATO Advanced Science Institutes Series. – 1997. – Ser. 2. – Vol. 34. – Pp. 135-139.

Thompson, I.P. Bioaugmentation for bioremediation: the challenge of strain selection / I.P. Thompson, C.J. van der Gast, L. Ciric, A.C. Singer // Environmental Microbiology. – 2005. – Vol. 7. – Iss 7. – Pp. 909-915.

Timmis, K. The contribution of microbial biotechnology to sustainable development goals / K. Timmis, W.M. de Vos, J.L. Ramos, S.E. Vlaeminck, A. Prieto, A. Danchin, W. Verstraete, V. de Lorenzo, S.Y. Lee, H. Brüssow, J.K. Timmis, B.K. Singh // Microbial Biotechnology. – 2017. – Vol. 10. – Iss. 5. – Pp. 984-987.

Tor J.M. Anaerobic degradation of aromatic compounds coupled to Fe(III) reduction by *Ferroglobus placidus* / J.M. Tor, D.R. Lovley // Environmental Microbiology. – 2001. – Vol. 3. – Iss. 4. – Pp. 281-287.

Tranvik, L.J. Colloidal and dissolved organic matter in lake water: Carbohydrate and amino acid composition, and ability to support bacterial growth / L.J. Tranvik, N.O.G. Jørgensen // Biogeochemistry. – 1995. – Vol. 30. – Iss. 2. – Pp. 77-97.

Treatment of sulphate in mine effluents. – Lorax Environmental (INAP), 2003. – 129 p.

Turkmen, S. Treatment of the seepage problems at the Kalecik Dam (Turkey) / S. Turkmen // Engineering Geology. – 2003. – Vol. 68. – No. 3-4. – Pp. 159-169.

Turkmen, S. Seepage problems in the karstic limestone foundation of the Kalecik Dam (south Turkey) / S. Turkmen, E. Özgüller, H. Taga, T. Karaogullarindan // Engineering Geology. – 2002. – Vol. 63. – No. 3-4. – Pp. 247-257.

Tyagi, M. Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes / M. Tyagi, M.M.R. da Fonseca, C.C.C.R. de Carvalho // Biodegradation. – 2011. – Vol. 22. – Iss. 2. – Pp. 231-241.

Urrutia, M.M. Formation of short-range ordered alumino-silicates in the presence of a bacterial surface and organic ligands / M.M. Urrutia, T.J. Beveridge // *Geoderma*. – 1995. – Vol. 65. – Pp. 149-165.

Valdes, J.R. Heat-induced bonding of sands / J.R. Valdes, D.D. Cortes // *Geo-Congress 2014. Technical Papers: Geo-characterization and modeling for sustainability* / eds. M. Abu-Farsakh, L.R. Hoyos. – 2014. – Pp. 3721-3733. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413272>

Valente, T.M. Occurrence, properties and pollution potential of environmental minerals in acid mine drainage / T.M. Valente, C.L. Gomes // *Science of Total Environment*. – 2009. – Vol. 407. – Pp. 1135-1152.

van Bodegom, P.M. Direct inhibition of methanogenesis by ferric iron / P.M. van Bodegom, J.C.M. Scholten, A.J.M. Stams // *FEMS Microbiology Ecology*. – 2004. – Vol. 49. – Pp. 261-268.

van der Gon, H.A.D. Sulfate-containing amendments to reduce methane emissions from rice fields: mechanisms, effectiveness and costs / H.A.D. van der Gon, P.M. van Bodegom, R. Wassmann, R.S. Lantin, T.M. Metra-Corton. // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. – 2001. – Vol. 6. – Pp. 71-89.

van der Zon, W.H. Patent US 8256994. Biosealing / van der Zon W.H., den Hamer D.A., Lambert J.W.M., Molendijk W.O. – 2012.

van Elsas, J.D. Survival of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* introduced into two soils of different texture in field microplots / J.D. van Elsas, A.F. Dijkstra, J.M. Govaert, J.A. van Veen // *FEMS Microbiology Ecology*. – 1986. – Vol. 38. – Pp. 151-160.

Van Hamme, J.D. Recent advances in petroleum microbiology / J.D. Van Hamme, A. Singh, O.P. Ward // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. – 2003. – Vol. 67. – Iss. 4. – Pp. 503-549.

Van Houlen, R.I. Biological sulfate reduction using gas-lift reactors fed with hydrogen and carbon dioxide as energy and carbon source / R.I. Van Houlen,

P.L.W. Holshoff, G. Lettinga // Biotechnology and Bioengineering. – 1994. – Vol. 44. – Iss. 5. – Pp. 586-594.

van Veen, J.A. Fate and activity of microorganisms introduced into soil / J.A. van Veen, L.S. van Overbeek, J.D.van Elsas // Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 1997. – Vol. 61. – Iss. 2. – Pp. 121-135.

Vanbroekhoven, K. Sustainable approach for the immobilization of metals in the saturated zone: In situ bioprecipitation / K. Vanbroekhoven, S. Van Roy, L. Diels, J. Gemoets, P. Verkaeren, L. Zeuwts, K. Feyaerts, F. van den Broeck // Hydrometallurgy. – 2008. – Vol. 94. – Iss. 1-4. – Pp. 110-115.

Verstraete, W. Microbial ecology and environmental biotechnology / W. Verstraete // The ISME Journal. – 2007. – Vol. 1. – Pp. 4-8.

Verstraete, W. Microbial technology with major potentials for the urgent environmental needs of the next decades / W. Verstraete, J. De Vrieze // Microbial Biotechnology. – 2017. – Vol. 10. – Iss. 5. – Pp. 988-994.

Volk, C.J. Chemical composition of biodegradable dissolved organic matter in streamwater / C.J. Volk, C.B. Volk, L.A. Kaplan. // Limnology and Oceanography. – 1997. – Vol. 42. – Iss. L. – Pp. 39-44.

Voordouw, G. Carbon monoxide cycling by *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough / G. Voordouw // Journal of Bacteriology. – 2002. – Vol. 184. – Iss. 21. – Pp. 5903-5911.

Vroblesky, D.A. Temporal and spatial changes of terminal electron-accepting processes in a petroleum hydrocarbon-contaminated aquifer and the significance for contaminant biodegradation / D.A. Vroblesky, F.H. Chapelle // Water Resources Research. – 1994. – Vol. 30. – No. 5. – Pp. 1561-1570.

Wan Ngah, W.S. Adsorption of gold(III) ions onto chitosan and N-carboxymethyl chitosan: Equilibrium studies / W.S. Wan Ngah, K.H. Liang // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 1999. – Vol. 38. – Pp. 1411-1414.

Warren, L.A. Microbially mediated calcium carbonate precipitation: Implications for interpreting calcite precipitation and for solid-phase capture of

inorganic contaminants / L.A. Warren, P.A. Maurice, N. Parmar, F.G. Ferris // *Geomicrobiology Journal*. – 2001. – Vol. 18. – Iss. 1. – Pp. 93-115.

Watanabe, K. Environmentally relevant microorganisms / K. Watanabe, P.W. Baker // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2000. – Vol. 89. – Iss. 1. – Pp. 1-11.

Watanabe, K. Understanding the diversity in catabolic potential of microorganisms for the development of bioremediation strategies / K. Watanabe, H. Futamata, S. Harayama // *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology*. – 2002. – Vol. 81. – Iss. 1-4. – Pp. 655-663.

Watanabe, T. Dynamics of methanogenic archaeal communities based on rRNA analysis and their relation to methanogenic activity in Japanese paddy field soils / T. Watanabe, M. Kimura, S. Asakawa // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – Pp. 2877-2887.

Weaver, T.J. Bio-induced calcite, iron, and manganese precipitation for geotechnical engineering applications / T.J. Weaver, M. Burbank, A. Lewis, R. Lewis, R. Crawford, B. Williams // *Geo-Frontiers*. – 2011. – Pp. 3975-3983.

Wells, M.L. Occurrence of small colloids in sea water / M.L. Wells, E.D. Goldberg // *Nature*. – 1991. – Vol. 353. – Pp. 342-344.

Wetzel, R.G. Gradient-dominated ecosystems: sources and regulatory functions of dissolved organic matter in freshwater ecosystems / R.G. Wetzel // *Hydrobiologia*. – 1992. – Vol. 229. – Pp. 181-198.

Wetzel, R.G. Death, detritus, and energy flow in aquatic ecosystems / R.G. Wetzel // *Freshwater Biology*. – 1995. – Vol. 33. – Pp. 83-89.

Whiffin, V.S. Microbial carbonate precipitation as a soil improvement technique / V.S. Whiffin, L.A. van Paassen, M.P. Harkes // *Geomicrobiology Journal*. – 2007. – Vol. 24. – Iss. 5. – Pp. 417-423.

Wildeman, T. Metal removal efficiencies from acid mine drainage in the Big Five constructed wetland / T. Wildeman, S. Machemer, R. Klusman, R. Cohen, P. Lemke // *Proc. 7th Ann. Meeting of the ASMR, Charleston, August 23-26, 1990*. – Charleston: ASMR, 1990. – Pp. 417-424.

Wolicka, D. The geomicrobiological role of sulphate-reducing bacteria in environments contaminated by petroleum products / D. Wolicka, A. Borkowski // *Geomicrobiology Journal*. – 2007. – Vol. 24. – Iss. 7-8. – Pp. 599-607.

Wright, D.T. Nonphotosynthetic bacteria and the formation of carbonates and evaporites through time / D.T. Wright, A. Oren // *Geomicrobiology Journal*. – 2005. – Vol. 22. – Pp. 27-53.

Yang, I.C.-Y. The use of slime-forming bacteria to enhance the strength of the soil matrix / I.C.-Y. Yang, Y. Li., J.K. Park, T.F. Yen // *Microbial enhanced oil recovery – Recent advances* / eds. E.T. Premuzic, A. Woodhead. – Amsterdam: Elsevier, 1993. – Pp. 89-96.

Yasuhara, H. Experiments and predictions of physical properties of sand cemented by enzymatically-induced carbonate precipitation / H. Yasuhara, D. Neupane, K. Hayashi, M. Okamura // *Soils and Foundations*. – 2012. – Vol. 52. – No. 3. – Pp. 539-549.

Younger, P.L. The adoption and adaptation of passive treatment technologies for mine waters in the United Kingdom / P.L. Younger // *Mine Water and the Environment*. – 2000. – Vol. 19. – Pp. 84-97.

Younger, P.L. A reducing and alkalinity-producing system (RAPS) for the passive treatment of acidic, aluminium-rich leachates emanating from revegetated colliery spoil materials at Bowden Close, County Durham / P.L. Younger // *Proceedings of the CLAIRE Annual Project Conference, London, 11 April, 2002*. – London: CLAIRE, 2002. – Paper 7. – 21 p.

Younger, P.L. Passive in situ remediation of acidic mine waste leachates: progress and prospects / P.L. Younger // *Land reclamation: Extending the boundaries* / eds. Moore H.M., Fox H.R., Elliott S. – Balkema: ASMR, 2003. – Pp. 253-264.

Zachara, J.M. Biogeochemical transformation of Fe minerals in a petroleum-contaminated aquifer / J.M. Zachara, R.K. Kukkadapu, P. Gassman, A. Dohnalkova, J.K. Fredrickson, T. Anderson // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2004. – Vol. 68. – No. 8. – Pp. 1791-1805.

Zagury, G.J. Characterization and reactivity assessment of organic substrates for sulphate-reducing bacteria in acid mine drainage treatment / G.J. Zagury, V.I. Kulnieks, C.M. Neculita // *Chemosphere*. – 2006. – Vol. 64. – Pp. 944-954.

Zhang, X. Carboxylation as an initial reaction in the anaerobic metabolism of naphthalene and phenanthrene by sulfidogenic consortia / X. Zhang, L.Y. Young // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1997. – Vol. 63. – Pp. 4759-4764.

Zhuang, J.M. A two-stage process using recycled acidic and basic sludges for treating acidic rock drainage / J.M. Zhuang, T. Walsh, E. Hobenshield // *Environmental Engineering Science*. – 2008. – Vol. 25. – Iss. 2. – Pp. 275-287.

Ziemkiewicz, P. Long-term performance of passive acid mine drainage treatment systems / P. Ziemkiewicz, J. Skousen, J. Simmons // *Mine Water and the Environment*. – 2003. – Vol. 22. – Pp. 118-129.

Zsolnay, Á. Dissolved organic matter: artefacts, definitions, and functions / Á. Zsolnay // *Geoderma*. – 2003. – Vol. 113. – Pp. 187-209.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Журнал экологической рекогносцировки

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный
исследовательский университет»
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ИНСТИТУТ

Лаборатория геологии техногенных процессов

Журнал экологической рекогносцировки

по объекту:

**Разработка рекомендаций по восстановлению приповерхностной
гидросферы в районе разгерметизации трубопровода-отвода
криминальной врезкой, выполненной на 363,5 км
конденсатопровода «Оренбург-Салават-Уфа» III нитка**

Пермь, 2017

Рекогносцировку провели:

А.В. Денисов

А.Д. Деменев

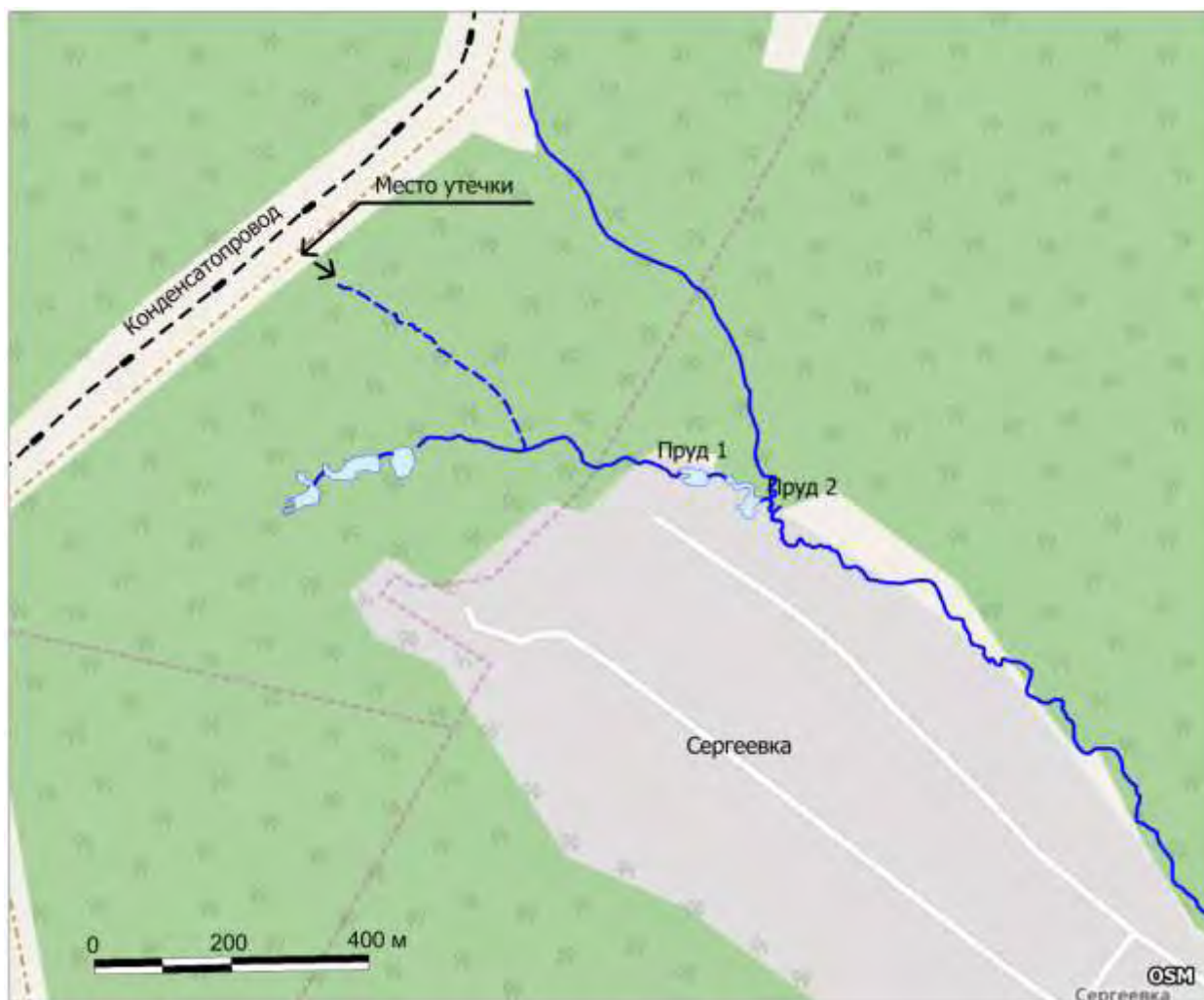
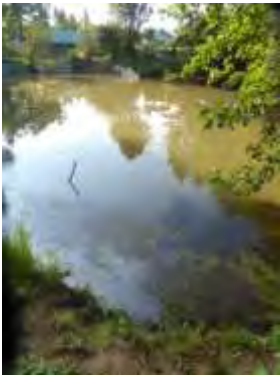


Рисунок. Расположение точек наблюдения на исследуемой территории

№ т.н.	Дата обследования	Координаты точки		Описание	Фото
		х	у		
1	16.08.2017	6 065 938.0	10 418 629.9	Сергеевка. Точка наблюдений расположена на искусственной дамбе, под дамбой протекает ручей, собирающийся из двух логов. Непосредственно под дорогой (дамбой) ручей взят в трубу. Ручей протекает вниз в сторону деревни (вдоль поселка). Около ручья и сама вода имеет слабый специфический запах. Пленки на поверхности воды нет. Выше по течению от ручья расположена наблюдательная скважина (уровень грунтовых вод отмечен на 0,3 м). Проведен экспресс-анализ воды в ручье, непосредственно около грунтовой автодороги: рН – 7,92, TDS – 298 ppm, электропроводность – 495 μS, t – 17,1°C.	
2	16.08.2017	6 065 936.4	10 418 686.4	Пруд 1 в пос. Сергеевка. Точка наблюдений расположена ниже по течению от т.н. 1. в районе пруда-1. Собственник искусственного водного объекта не установлен, целевое назначение официально не определено. Берега пруда, заросшие обильной растительностью, деревьями и кустарниками, на одном из берегов расположены участки местных жителей. На момент проведения рекогносцировки, пленки от загрязнителя на поверхности воды нет.	

3	16.08.2017	6 065 925.7	10 418 757.3	Точка наблюдения расположена около пруда-2, ниже в 10 м от пруда 1. Берега пруда также заросшие обильной растительностью, на одном из берегов пруда расположены участки местных жителей, подход к пруду ограничен. Собственник искусственного водного объекта также не установлен, целевое назначение официально не определено. По органолептическим признакам загрязнения воды в пруде не обнаружено. Около пруда расположена наблюдательная скважина за состоянием грунтовых вод, в ней же отобрана проба воды для лабораторного анализа, уровень грунтовых вод отмечен на глубине 0,7 м.	
4	16.08.2017	6 065 949.0	10 418 604.2	Точка наблюдения расположена в месте слияния двух оврагов, в 40 м выше от дороги (от т.н. 1). Вода в правом притоке (логе) начинает появляться на поверхности в непосредственной близости от точки слияния логов ($\approx 5-10$ м), выше по течению – сухое русло. На правом водотоке присутствуют следы ожелезнения. Начало лога (притока), по всей видимости, приурочено к источнику загрязнения. Проведен экспресс-анализ воды в правом притоке: pH – 8,22, TDS – 477 ppm, электропроводность – 671 μS, t – 15,1°C. Левый водоток обладает заметно большей водообильностью и питается, в основном, водами из пруда расположенного выше. Проведен экспресс-анализ воды в левом притоке: pH – 8,22, TDS – 223 ppm, электропроводность – 447 μS, t – 16,8°C. На данной территории проводились природоохранные мероприятия, о чем свидетельствует современное состояние почвенного покрова. Воды правого притока обладают специфическим запахом.	

					
5	16.08.2017	6 065 969.9	10 418 287.8	Точка наблюдения расположена у пруда в лесу, по дороге к первоначальному источнику загрязнения. Вдоль пруда по берегу проходит автодорога по дамбе. Дамба оборудована трубой для слива воды из пруда. Вода из пруда по трубе вытекает в лог и образует ручей (правый приток, описанный в т.н. 4) далее впадает в другой ручей (левый приток, описанный в т.н. 4). Визуально следов загрязнения в пруде не обнаружено. Проведен экспресс-анализ воды в пруде: pH – 8,02, TDS – 168 ppm, электропроводность – 336 μS, t – 19,6°C.	 
6	16.08.2017	6 066 198.5	10 418 180.1	Точка наблюдения расположена в районе емкости для сбора конденсата, также исследовалась территория в низине (в районе начала «загрязненного лога»). Глубина лога 6-8 м. На момент проведения рекогносцировки – в логу воды немного. Отмечен специфический запах. Проведен экспресс-анализ водотоке, протекающем в логе: pH – 7,49, TDS – 406 ppm, электропроводность – 615 μS, t – 14,0°C. В районе точки наблюдений расположена точка разгрузки подземных (грунтовых) вод, загрязненных. Грунт на дне и отложения на дне лога загрязнены с глубины около 10 см. Около точки разгрузки оборудован дренаж для сбора загрязненных вод, диаметром 730 мм, на момент проведения исследований грунтовые воды в дренаже были зафиксированы на глубине 0,4 м. Из дренажа отобраны воды для лабораторных анализов. Также в районе точки наблюдения были отобраны	

				грунты и пробурена скважина, с целью отбора грунтов для последующих экспериментальных работ.	
7	16.08.2017	6 066 174.9	10 418 250.6	Точка наблюдения расположена в районе секций, оборудованных для преграждения потока поверхностных вод в природоохранных целях и проведения рекультивации. Секции представляют собой небольшие запруды, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга вниз по течению водотока. В данном районе были отобраны образцы грунта для проведения лабораторных работ.	
8	16.08.2017	6 066 040.8	10 418 410.1	Точка наблюдения расположена в районе запруды, ниже по «загрязненному логу» на расстоянии ≈ 70 м. от т.н. 7. В районе точки наблюдения поверхностные воды в логу перегороджены дамбой. Поверхностный сток вод практически остановлен. Обустроена наблюдательная скважина для контроля за грунтовыми водами. В скважине отобраны пробы воды, а также проведен экспресс-анализ: pH – 7,35, TDS – 455 ppm, электропроводность – 907 μ S, t – 18,7°C. На момент проведения рекогносцировки, грунтовые воды были зафиксированы на глубине 0,5 м. Далее вниз по течению лог расширяется, поверхностного стока практически нет.	

					
--	--	--	--	--	---

Приложение Б. Протоколы химического анализа воды и грунта в районе разлива газоконденсата

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614090, г. Пермь, ул. Гиппелья, д.4, (342)2396-748, e-mail: nio@prsu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №243-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: колодец 1, в начале лота, напротив емкости
Идентификация образца: №1
Лабораторный номер пробы: 265-17
Дата отбора: 16.08.17
Дата доставки в лабораторию: 16.08.17
Дата выполнения анализов: 16.08.-17.08.17
Количество пробы: 1,5 дм³

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	НД на метод измерений	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	591±71
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	3,02±0,72
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	12,0±1,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	1,24±0,25
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	2,92±41
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	15,0±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	177,2±3,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2	>2,0
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954, метод А	10,2±1,5
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261	659 ±59
16.	Нефтепродукты	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.128	0,63±0,16
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190	78 ±16
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	9,9±1,2

Отметки об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:
К.А.В., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ


Порошина И.В.
Максимович И.И.

Переписка или копирование протокола без разрешения ответственного научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена.

Дата выдачи протокола: 02.11.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гюкеля, д.4. (342)2396-748, e-mail: nti@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №244-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: скважина в районе запруды
Идентификация образца: №2
Лабораторный номер пробы: 266-17
Дата отбора: 16.08.17
Дата доставки в лабораторию: 16.08.17
Дата выполнения анализов: 16.08.-17.08.17
Количество пробы: 1,5 дм³

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	МД на метод измерений	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121	7,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	657±53
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	5,0±1,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	1,23±0,25
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	1,90±0,38
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	2,26±0,32
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	19,9±2,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	177,8±3,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	10,9±1,6
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261	646±58
16.	Нефтепродукты	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.128	2,15±0,54
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190	77±15
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	10,95±0,88

Отметки об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович Н.Д.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 02.11.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гоголя, д.4. (342)2396-748, e-mail: nti@prgu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №245-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: скважина около пруда 2, в замыкающей точке
Идентификация образца: №3
Лабораторный номер пробы: 267-17
Дата отбора: 16.08.17
Дата доставки в лабораторию: 16.08.17
Дата выполнения анализов: 16.08.-17.08.17
Количество пробы: 1,5 дм³

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	МД на метод измерений	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	699±57
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	7,46±0,75
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	9,23±0,92
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	1,73±0,35
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	23,6±2,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	25,6±2,6
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167	180,0±3,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	11,5±1,7
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261	722 ±65
16.	Нефтепродукты	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.128	0,04±0,01
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190	21,7 ±6,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	11,65±0,93

Отметки об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:
Б.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

Цорошина Н.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 02.11.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гоголя, д. 4. (342)2396-748, e-mail: ntps@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №253-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: почва
Место отбора: В начале логга, напротив емкости, глубина отбора 0,1 м
Идентификация образца: №1 у
Лабораторный номер пробы: 2981-17
Дата отбора: 16.08.17
Дата доставки в лабораторию: 18.09.2017
Дата выполнения анализа: 26.09 - 27.09.2017
Количество пробы: 1 кг

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	МД на метод измерений	Результат КХА
1.	pH водной вытяжки	pH	ГОСТ 26423	7,4±0,2
2.	Гидрокарбонат-ионы	мг/кг	ГОСТ 26424	251±15
3.	Карбонат-ионы	мг/кг	ГОСТ 26424	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	18,7±2,8
5.	Сульфат-ионы	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	138±21
6.	Нитрат-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	4,48±0,67
7.	Нитрит-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.51	<0,037
8.	Аммоний-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	6,18±0,99
9.	Калий	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	31,9±5,1
10.	Натрий	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	14,0±2,2
11.	Магний	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	17,4±2,8
12.	Кальций	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	207±33
13.	Плотный остаток в водной вытяжке	мг/кг	ГОСТ 26423	870±260

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -.

Анализ выполнял:
К.А.П., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам. директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Норошкина И.В.

Максимович И.И.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена.

Дата выдачи протокола: 22.11.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гоголя, д. 4. (342)2396-748, e-mail: ntps@pmu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №254-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: почва
Место отбора: В районе заградительных секций, глубина отбора 0,2 м
Идентификация образца: №2 у
Лабораторный номер пробы: 291-17
Дата отбора: 16.08.17
Дата доставки в лабораторию: 18.09.2017
Дата выполнения анализа: 26.09 - 27.09.2017
Количество пробы: 1 кг

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	МД на метод измерений	Результат КХА
1.	pH водной вытяжки	pH	ГОСТ 26423	7,5±0,2
2.	Гидрокарбонат-ионы	мг/кг	ГОСТ 26424	166±15
3.	Карбонат-ионы	мг/кг	ГОСТ 26424	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	10,9±1,64
5.	Сульфат-ионы	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	50,6±7,6
6.	Нитрат-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	4,43±0,66
7.	Нитрит-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.51	<0,037
8.	Аммоний-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	15,0±2,4
9.	Калий	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	28,3±4,5
10.	Натрий	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	27,0±4,3
11.	Магний	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	30,7±4,9
12.	Кальций	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	188±30
13.	Плотный остаток в водной вытяжке	мг/кг	ГОСТ 26423	600±180

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнял:
К.А.П., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам. директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Норошкина И.В.

Максимович И.И.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена.

Дата выдачи протокола: 22.11.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гоголя, д. 4. (342)2396-748, e-mail: nti@fpm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №255-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: донные отложения
Место отбора: Пруд-1, Сергеевка, глубина отбора 0,2 м
Идентификация образца: №3 у
Лабораторный номер пробы: 292-17
Дата отбора: 16.08.17
Дата доставки в лабораторию: 18.09.2017
Дата выполнения анализа: 26.09 - 27.09.2017
Количество пробы: 1 кг

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	МД на метод измерений	Результат КХА
1.	pH водной вытяжки	pH	ГОСТ 26423	8,0±0,2
2.	Гидрокарбонат-ионы	мг/кг	ГОСТ 26424	330±15
3.	Карбонат-ионы	мг/кг	ГОСТ 26424	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	19,5±2,9
5.	Сульфат-ионы	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	346±52
6.	Нитрат-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.3.2.2.69	16,5±2,5
7.	Нитрит-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.51	<0,037
8.	Аммоний-ион	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	9,8±1,6
9.	Калий	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	13,5±2,2
10.	Натрий	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	20,3±3,3
11.	Магний	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	28,9±4,6
12.	Кальций	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3.74	249±40
13.	Плотный остаток в водной вытяжке	мг/кг	ГОСТ 26423	1700±510

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -.

Анализ выполнял:
К.А.П., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам. директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Норощина И.В.

Максимович И.И.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена.

Дата выдачи протокола: 22.11.2017

Приложение В. Протоколы химического анализа грунта отвала



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Сектор наноминералогии

Аттестат аккредитации Федеральной службы по аккредитации «Росаккредитация»:

№ РОСС RU.0001.518896

614990, Пермский край, г. Пермь, Дзержинский район, ул. Генкеля, д. 4, (лит. А), часть здания
пристроен к естественно-научному институту Пермского государственного университета, кабинет № 210

614990, Пермский край, г. Пермь, Дзержинский район, ул. Генкеля, д. 8 (лит. ЛЛ), здание учебно-
лабораторного корпуса геологического факультета, кабинет № 709а

Тел.: (342)239-64-29, E-mail: oral@psu.ru

Протокол количественного химического анализа № 1149

от 15.08.2018 г.

(на 2 листах)

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Адрес: 614990, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4

Заказ: 197.18

Идентификация объекта: Негорелый отвал Кизеловского угольного бассейна

Пробы отобраны и идентифицированы Заказчиком

Акт отбора проб: № 2, дата отбора 11.07.2018 г.

Наименование объекта исследования: горная порода

Методика выполнения измерений: НСАМ №499-АЭС/МС Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами

Средство измерения: Масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Aurora M90, свидетельство о поверке № 016280-1874-223 действительно до 03.10.2018 г.

Дата проведения измерений: 08.08.2018 г. – 09.08.2018 г.

Результаты измерений:

Определяемая характеристика, ед. измерения	Номер пробы регистрационный / Номер пробы Заказчика	
	8445	
	бт	
	Значение характеристики	±Δ
Ванадий (V), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	89,1	47,2
Олово (Sn), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	3,8	2,2
Литий (Li), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	36,84	18,71
Бериллий (Be), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,56	0,96
Скандий (Sc), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	11,6	6,8
Хром (Cr), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	79,2	22,9
Кобальт (Co), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	3,1	1,8
Никель (Ni), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	11,6	6,8
Медь (Cu), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	42,4	25,0
Цинк (Zn), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	32,0	18,2
Галлий (Ga), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	18,3	7,5
Мышьяк (As), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	4,7	2,7
Селен (Se), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,3	1,3
Рубидий (Rb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	11,5	6,8
Стронций (Sr), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	266,9	146,8
Иттрий (Y), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,5	1,4
Ниобий (Nb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	25,79	15,21
Молибден (Mo), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,4	0,8
Серебро (Ag), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,93	0,51
Кадмий (Cd), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,61	0,36
Сурьма (Sb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,7	0,4
Теллур (Te), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	менее 0,3	
Цезий (Cs), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,27	1,34
Барий (Ba), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	133,3	78,6
Лантан (La), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	8,07	4,76
Церий (Ce), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	17,79	10,49
Прозеродим (Pr), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,65	0,97

Продолжение протокола № 1149 от 15.08.2018 г.

Определяемая характеристика, ед. измерения	Номер пробы регистрационный / Номер пробы Заказчика	
	8445	
	бт	
	Значение характеристики	$\pm \Delta$
Неодим (Nd), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	5,40	3,19
Самарий (Sm), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,85	0,50
Европий (Eu), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,16	0,09
Гадолиний (Gd), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,83	0,49
Тербий (Tb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,13	0,07
Диспрозий (Dy), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,67	0,39
Гольмий (Ho), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,03	0,02
Эрбий (Er), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,36	0,21
Тулий (Tm), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,01	0,00
Иттербий (Yb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,40	0,23
Лютеций (Lu), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,03	0,02
Гафний (Hf), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	7,64	4,50
Тантал (Ta), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	464,13	134,59
Вольфрам (W), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,01	1,18
Таллий (Tl), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,65	0,38
Свинец (Pb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	40,8	24,0
Висмут (Bi), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,27	0,16
Торий (Th), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,26	1,33
Уран (U), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	3,71	1,45
Ртуть (Hg), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	9,90	5,84

Результаты анализа действительны только для образцов, представленных к исследованию.
Запрещается частичное копирование без разрешения руководителя Сектора наноминералогии.
Отпечатано в 2 экз. Экземпляр 1.

Руководитель Сектора наноминералогии,
доктор геолого-минералогических наук, профессор  Ососовецкий Б.М.

окончание протокола № 1149 от 15.08.2018 г.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Сектор наноминералогии

Аттестат аккредитации Федеральной службы по аккредитации «Росаккредитация»:
№ РОСС RU.0001.518896

614990, Пермский край, г. Пермь, Дзержинский район, ул. Генкеля, д. 4, (лит. А), часть здания
пристройка к естественно-научному институту Пермского государственного университета, кабинет № 210

614990, Пермский край, г. Пермь, Дзержинский район, ул. Генкеля, д. 8 (лит. ЛП), здание учебно-
лабораторного корпуса геологического факультета, кабинет № 709а

Тел.: (342)239-64-29, E-mail: opal@psu.ru

Протокол количественного химического анализа № 1148

от 15.08.2018 г.

(на 2 листах)

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Адрес: 614990, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4

Заказ: 197.18

Идентификация объекта: Горелый отвал Кизеловского угольного бассейна

Пробы отобраны и идентифицированы Заказчиком

Акт отбора проб: № 2, дата отбора 11.07.2018 г.

Наименование объекта исследования: горная порода

Методика выполнения измерений: НСАМ №499-АЭС/МС Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами

Средство измерения: Масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Augora M90, свидетельство о поверке № 016280-1874-223 действительно до 03.10.2018 г.

Дата проведения измерений: 08.08.2018 г. – 09.08.2018 г.

Результаты измерений:

Определяемая характеристика, ед. измерения	Номер пробы регистрационный / Номер пробы Заказчика	
	8444	
	5г	
	Значение характеристики	±Δ
Ванадий (V), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	126,0	56,7
Олово (Sn), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	6,7	4,0
Литий (Li), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	95,24	44,76
Бериллий (Be), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	5,43	3,20
Скандий (Sc), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	18,9	11,1
Хром (Cr), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	99,1	28,7
Кобальт (Co), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	15,8	9,3
Никель (Ni), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	40,2	23,7
Медь (Cu), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	95,2	56,1
Цинк (Zn), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	186,3	91,3
Галлий (Ga), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	26,6	9,3
Мышьяк (As), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	8,7	5,1
Селен (Se), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	менее 0,5	
Рубидий (Rb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	10,6	6,2
Стронций (Sr), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	196,5	115,9
Иттрий (Y), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	12,5	7,3
Ниобий (Nb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	26,90	15,87
Молибден (Mo), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,2	1,3
Серебро (Ag), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,20	0,66
Кадмий (Cd), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,64	0,38
Сурьма (Sb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,2	0,7
Теллур (Te), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	менее 0,3	
Цезий (Cs), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,18	1,28
Барий (Ba), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	157,8	93,1
Лантан (La), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	7,78	4,59
Церий (Ce), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	19,77	11,66
Празеодим (Pr), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,80	1,06

Продолжение протокола № 1148 от 15.08.2018 г.

Определяемая характеристика, ед. измерения	Номер пробы регистрационный / Номер пробы Заказчика	
	8444	
	St	
	Значение характеристики	$\pm \Delta$
Неодим (Nd), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	7,64	4,51
Самарий (Sm), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,83	1,08
Европий (Eu), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,45	0,26
Гадолиний (Gd), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,95	1,15
Тербий (Tb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,38	0,22
Диспрозий (Dy), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,41	1,42
Гольмий (Ho), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,35	0,21
Эрбий (Er), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,59	0,94
Тулий (Tm), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,20	0,12
Иттербий (Yb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	1,79	1,05
Лютеций (Lu), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,24	0,14
Гафний (Hf), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	7,42	4,38
Тантал (Ta), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	468,93	135,99
Вольфрам (W), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	2,70	1,59
Таллий (Tl), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,65	0,38
Свинец (Pb), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	67,0	39,5
Висмут (Bi), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,50	0,29
Торий (Th), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	4,41	2,60
Уран (U), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	6,64	2,32
Ртуть (Hg), $n \cdot 10^{-4}$ массовая доля, %	0,40	0,24

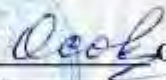
Результаты анализа действительны только для образцов, представленных к исследованию.

Запрещается частичное копирование без разрешения руководителя Сектора наноминералогии.

Отпечатано в 2 экз. Экземпляр 1.

Руководитель Сектора наноминералогии,

доктор геолого-минералогических наук, профессор



Осовецкий Б.М.

продолжение протокола № 1148 от 15.08.2018 г.

Приложение Г. Протоколы химического анализа проб поверхностных и подземных вод

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №140-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 140-16

Место отбора пробы: 310а тело плотины (рус.пл.)

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система катионного электрофореза. Капель.	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жидкости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жидкости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0313955	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	174±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	75,1±7,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	31,5±3,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	4,37±0,61
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	19,4±1,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	8,1±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	71,4±7,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	±30
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	4,51±0,68
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	379±34
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	9,7±2,9
19.	Биохимическое потребление	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	2,15±0,56

На 2 страницах. Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,91±0,35
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	384

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №141-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 141-16

Место отбора пробы: 363 аллювиальный горизонт (рус.пл.)

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	288±35
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	30,4±3,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	125±12
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	0,58±0,12
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	0,97±0,19
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	14,0±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	19,9±2,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	102±10
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	<30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	7,3±1,1
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	486±44
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	7,3±2,2
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,91±0,24

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	4,80±0,58
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	581

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №142-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 142-16

Место отбора пробы: 479 ТП тело плотины

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	150±18
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	14,9±1,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	27,8±2,8
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	0,67±0,13
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3,20±0,45
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	10,2±1,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	5,09±0,71
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	49,1±4,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	≤30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,03±0,46
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	257±23
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	<5,0
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	1,28±0,33

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,50±0,30
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	261

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Ирмского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №143-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 143-16

Место отбора пробы: 480 ТП тело плотины

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	158±19
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	22,4±2,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	25,5±2,6
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	0,65±0,13
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	2,98±0,42
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	12,1±1,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	5,98±0,84
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	46,9±4,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	±30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,27±0,49
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	188±17
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	8,7±2,6
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	1,44±0,37

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,64±0,32
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	274

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Ирмского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №144-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 144-16

Место отбора пробы: 403 а/А адвентивный горизонт

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	76,5±9,2
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	59,0±5,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	9,41±0,94
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	1,49±0,30
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3,64±0,51
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	16,6±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	7,3±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	24,5±2,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	≤30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	2,08±0,31
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	143±15
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	8,8±2,6
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,79±0,21

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,28±0,15
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	198

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Ирмского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №145-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 145-16

Место отбора пробы: 405 аА альвовальная горизонт

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	156±19
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	36,9±3,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	40,0±4,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	1,37±0,27
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	23,8±2,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	17,4±1,7
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	28,1±2,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	8,2±1,3
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,27±0,49
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	151±14
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	7,5±2,3
19.	Биохимическое потребление	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,89±0,23

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,60±0,31
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	312

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №146-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 146-16

Место отбора пробы: 409 ВС верхнеозимский горизонт

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	9,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	39,0±4,8
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	3566,0±3,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	6652,0±6,6
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3497,5±7,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	315±3,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	306,0±3,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	±30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	49,3±7,4
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	15000±1000
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	139,0±4,2
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,96±0,25

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,87±0,22
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	14336

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №147-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 147-16

Место отбора пробы: 407 нижнесоликамский горизонт

Дата отбора: 13.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 13.07.2016

Дата выполнения анализов: 13.07 – 19.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	9,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	132,0±3,1
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	14191±14
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	3869,0±3,8
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	8,05±0,16
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	22,2±0,31
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	7240±14
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	414,0±4,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	843,0±8,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	89±13
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	26800±1900
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	-
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	±0,5

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	6,60±0,79
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	26587

Прим.: метод не применим ввиду высокого содержания мешающих веществ

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам. директора по науке ЕНИ ПТНМУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №148-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 148-16

Место отбора пробы: 475-тело плотины

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	137±16
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	30,8±3,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	19,9±2,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	2,87±0,40
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	16,7±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	5,41±0,77
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	42,4±4,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	±30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,12±0,47
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	167±15
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	20,2±6,0
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,82±0,21

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,29 ± 0,27
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	255

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №149-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 149-16

Место отбора пробы: 423 аллювиальный горизонт

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	6,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	387±46
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	19,9±2,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	1,34±0,32
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	8,9±1,2
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	1,62±0,32
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	12,1±1,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	14,3±1,4
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	82,5±8,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	6,14±0,92
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	291±26
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	20,9±6,3
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,91±0,24

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	6,45±0,77
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	527

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №150-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 150-16

Место отбора пробы: Грифон ПК 16+63

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	311±37
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	42,0±4,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	7,99±0,80
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	1,91±0,27
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	17,6±1,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	15,5±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	75,0±7,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	3,40±0,54
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	5,77±0,86
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	330±30
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	33,0±10,0
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,93±0,24

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	5,18±0,62
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	474

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №151-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 151-16

Место отбора пробы: 438;У, шенгинский (урж) горизонт

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	141±17
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	45,7±4,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	41,2±4,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	0,72±0,14
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3,19±0,45
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	45,2±4,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	19,6±2,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	118±12
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	11,1±1,7
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	300±27
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	41±12
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	<0,5

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,36±0,28
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	414

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №152-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 152-16

Место отбора пробы: 439 аУ, шеншинский (ураж) горизонт

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	142±17
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	96,6±9,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	11,2±1,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	2,00±0,40
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	26,9±2,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	13,2±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	44,3±4,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	≤30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,70±0,56
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	265±24
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	23,9±7,1
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	≤0,5

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,36±0,28
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	336

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №153-16

Объект КХА: поверхностная вода

Лабораторный номер пробы: 153-16

Место отбора пробы: Вдхр. ВБ. в районе пойменной пл.

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	80,7±9,7
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	15,3±1,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	81,0±8,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	1,88±0,38
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	7,67±1,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	6,39±0,84
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	40,8±4,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,24±0,05
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,05±0,46
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	228±21
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	51±10
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	1,26±0,33

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,35±0,16
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	234

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №154-16

Объект КХА: поверхностная вода
 Лабораторный номер пробы: 154-16
 Место отбора пробы: Вдхр. ВБ, устье руч. Грязный
 Дата отбора: 14.07.2016
 Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016
 Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016
 Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	214±26
4.	Хлорид-ионы	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	46,8±4,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	72,0±7,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	27,8±2,8
7.	Нитрит-ион	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	2,40±0,33
10.	Натрий	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	15,2±1,5
11.	Магний	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	9,7±1,4
12.	Кальций	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	66,2±6,6
13.	Железо	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,37±0,07
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	5,77±0,86
15.	Сухой остаток	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	435±39
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	20,1±6,0
19.	Биохимическое потребление	мг О/дм³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,88±0,23

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	3,57±0,43
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	454

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Иркутского государственного национального исследовательского университета

ПРОТОКОЛ КХА №155-16

Объект КХА: природная вода

Лабораторный номер пробы: 155-16

Место отбора пробы: Вдхр. ВБ, ЦБК

Дата отбора: 14.07.2016

Дата доставки в лабораторию: 14.07.2016

Дата выполнения анализов: 14.07 – 20.07.2016

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	23.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	96±12
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	12,7±1,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	111±11
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	1,65±0,33
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	7,3±1,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	7,2±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	54,3±5,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,40±0,08
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,85±0,58
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	297±22
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	35±11
19.	Биохимическое потребление	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	1,61±0,42

На 2 страницах, Стр.1 из 2.

1	2	3	4	5
	кислорода (БПК ₅)			
20.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,61±0,19
21.	Минерализация	мг/дм ³	-	290

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 20.08.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №220-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 220-16

Место отбора пробы: №17, 310а, тело илтинны

Дата отбора: 03.09.16

Дата доставки в лабораторию: 03.09.16

Дата выполнения анализов: 03.09.16 – 08.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишелевского электрофизического анализа	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жидкостной флуориметрии	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жидкостной флуориметрии	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UV-1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные 608-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2782	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	126±15
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	25,9±2,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	26,9±2,7
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	0,36±0,10
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	3,91±0,55
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	16,9±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	6,02±0,84
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	54,2±5,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,55±0,53
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	260±23
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	27,1±8,1
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	1,57±0,41
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,11±0,25

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Масинкович Н.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №221-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 221-16

Место отбора пробы: №18, 363 аллювиальный горизонт (русл. пл.)

Дата отбора: 03.09.16

Дата доставки в лабораторию: 03.09.16

Дата выполнения анализов: 03.09.16 – 08.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода pH-метр	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазометр	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	7,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	179±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	12,7±1,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	42,2±4,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	1,36±0,27
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	1,71±0,34
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	9,1±1,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	9,9±1,4
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	37,0±3,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	13,81±0,22
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	2,80±0,42
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	179±16
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	11,2±3,4
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	0,97±0,25
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,98±0,36

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНН ПН ИОГУ



Порошина Н.В.

Максимович Н.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №222-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 222-16

Место отбора пробы: №19, 403 аА аллювиальный горизонт -

Дата отбора: 03.09.16

Дата доставки в лабораторию: 03.09.16

Дата выполнения анализов: 03.09.16 - 08.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капала	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор кислотности Экодер-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор кислотности Флорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Секстропотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинационный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	8,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	89±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	33,9±3,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	9,21±0,92
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	0,41±0,11
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	5,19±0,73
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	22,4±2,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	8,31±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	22,8±2,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	5,10±0,33
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	1,55±0,23
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	156±14
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	12,0±3,6
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,92±0,24
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,49±0,18

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНН ПГНИУ



Порошина Н.В.

Михайлович Н.И.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №223-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 223-16

Место отбора пробы: №20, 405 аА взломальный горизонт

Дата отбора: 03.09.16

Дата доставки в лабораторию: 03.09.16

Дата выполнения анализов: 03.09.16 – 08.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода pH-метр	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазометр	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ОН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	9,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	45,0±5,4
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	36,0±3,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	8,06±0,81
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	0,36±0,10
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	2,44±0,34
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	24,2±2,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	6,97±0,98
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	15,8±1,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	1,46±0,15
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	0,90±0,14
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	123±11
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	20,6±6,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	0,54±0,14
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,75±0,09

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНН ПД ИОГУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественноматематический институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №224-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 224-16

Место отбора пробы: №21, 407 нижнесоликамский горизонт

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капала	1467	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор кислотности Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор кислотности Ф-поверит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Сектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинационный ЗСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	9,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	81,0±9,6
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	10200±10
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	3274,0±3,3
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	11,45±0,23
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	12,05±0,24
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	5925,0±2,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	383,00±0,38
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	823,00±0,58
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	72±11
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	22000±1500
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	—
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,87±0,23
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,35±0,16

Прим. – метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Анализ выполнил:

К.А.И., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ГНИ ПГНИУ



Портинина Н.В.

Максимов И.И.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №225-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 225-16

Место отбора пробы: №22,409 ВС верхнеполиамский горизонт

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система капиллярного электрофореза Капада	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор кислотности Экодерг-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор кислотности Ф-поверт	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные GR-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	9,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	55,8±6,6
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	3210,0±3,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	7536,0±7,3
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3,00±0,60
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3528,0±1,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	369,5±3,7
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	373,2±3,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,39±0,04
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	49,1±7,4
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	14600±1000
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	132,0±2,0
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	<0,5
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,93±0,11

Анализ выполнен:

К.И.И., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНН ПГНИУ



Порошина Н.В.

Михайлов И.И.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Министерство образования и науки РФ

Ил. 1 стр. Стр. 1 из 1

Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №226-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 226-16

Место отбора пробы: №23, 479, ТП теплопункта

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрофизика Канталь	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-400.1	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флюорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ОН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/3	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	7,7±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	150±18
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	22,2±2,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	39,7±4,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	0,28±0,08
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	3,45±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	16,2±1,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	6,56±0,92
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	58,9±5,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,20±0,48
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	248±22
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03	11,5±3,5
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	0,94±0,24
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,50±0,30

Анализ выполнил:

Е.к.и., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНН ПГНИУ



Порошина Н.В.

Макашова И.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №227-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 227-16

Место отбора пробы: №24, 480, ТП село Шютини

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишелевского электродного Калеля	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6250	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазомат	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ОН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	7,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	134±16
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	19,7±2,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	51,3±5,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	3,01±0,42
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	12,26±1,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	6,02±0,84
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	49,5±5,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,23±0,48
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	224±20
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	16,3±4,9
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	0,88±0,23
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,24±0,27

Анализ выполнил:

К.с.к., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПНПУ



Дорошова Н.В.

Максимович Н.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №228-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 228-16

Место отбора пробы: №25, 423 аллювиальный горизонт

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишасивающего электрофидера Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жидкости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жидкости Фазометр	6356	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стекланный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	6,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	378±45
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	20,7±2,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	0,86±0,17
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	2,14±0,43
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	5,91±0,83
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	1,47±0,29
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	12,81±1,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	13,0±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	73,3±3,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	5,94±0,89
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	409±37
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	17,4±5,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	1,33±0,35
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	6,30±0,76

Анализ выполнил:

К.с.к., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПНПУ



Дорошина Н.В.

Максимович Н.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №229-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 229-16

Место отбора пробы: №26, 475, тело плотины

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишелевского электрофизического анализа	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазометр	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ОН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	133±16
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	14,9±1,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	21,4±2,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	0,59±0,12
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	2,87±0,40
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	10,0±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	5,17±0,72
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	38,8±3,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	>30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	2,48±0,37
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	188±17
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	<5,0
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	<0,5
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,21±0,27

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНН ПУ ИОГУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественный научный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №230-16

Объект КХА: поверхностная вода

Лабораторный номер пробы: 230-16

Место отбора пробы: №27. Вдхр. ВЕ в районе пойменной пл.

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишелевого электрода Калель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6250	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазомет	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	8,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	93±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	33,3±3,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	72,8±7,3
6.	Нитрат-ион	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	4,17±0,58
10.	Натрий	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	16,4±0,6
11.	Магний	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	7,6±1,1
12.	Кальций	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	47,1±4,7
13.	Железо	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,74±0,22
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,20±0,48
15.	Сухой остаток	мг/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	284±26
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	20,5±6,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК₅)	мг О/дм³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	1,47±0,38
19.	Общая щелочность	ммоль/дм³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,55±0,19

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНН ПН ИОГУ



Порошина Н.В.

Максимович Н.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

№ 1 стр. Стр. 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №231-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 231-16

Место отбора пробы: №28, 438У, шельминский (уржумский) горизонт

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишаживного электрофидера Капель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жидкостя Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жидкостя Фазовит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ФН-202	14239483	13/3044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	7,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	485±58
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	32,5±3,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	109±11
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	0,23±0,07
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	3,53±0,49
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	47,8±4,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	18,6±1,9
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	102±10
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	8,08±0,16
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	8,5±1,3
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	750±68
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	40±12
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	0,96±0,25
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	8,09±0,97

Анализ выполнил:

К.С.К., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПНПУ



Дорошова Н.В.

Максимович Н.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №232-16

Объект КХА: поверхностная вода

Лабораторный номер пробы: 232-16

Место отбора пробы: №29, Вдхр. ВЕ, устье р.ч.Л. р.ч.И

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишелевского электрофизического анализа	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазометр	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ОН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	199±24
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	34,7±3,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	133±13
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	14,8±1,5
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	2,23±0,32
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	15,9±1,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	12,6±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	99,2±9,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,32±0,06
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	6,18±0,93
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	471±42
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	12,1±3,6
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	<0,5
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	3,31±0,40

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНН ПН ИОГУ



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

Итого стр. Стр 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественный научный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №233-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 233-16

Место отбора пробы: №30, Вдхр. ВВ, ЦББ

Дата отбора: 04.09.16

Дата доставки в лабораторию: 04.09.16

Дата выполнения анализов: 04.09.16 – 09.09.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система кишелевого электрода Калель	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6250	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фазомат	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные ОН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	00169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед.изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	123±15
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	21,1±2,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	185±19
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	1,93±0,39
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	12,0±1,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	11,7±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.167-2000	82,8±8,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.2-95	0,33±0,07
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	5,38±0,81
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.261-10	433±39
17.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4.190-03	17,3±5,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97	1,75±0,45
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,05±0,25

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке Е.И.И. П.П.Ю.Г.



Порошина Н.В.

Максимович И.Г.

Дата выдачи протокола: 10.09.2016

№ 1 стр. Стр. 1 из 1

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №271-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 271-16

Место отбора пробы: №31, 310а, тело плотины

Дата отбора: 03.11.16

Дата доставки в лабораторию: 03.11.16

Дата выполнения анализов: 03.11.16 – 08.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрофизика Калибр	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасерит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электропроводящий комбинированный ЗСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	191±23
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	23,83±2,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	42,1±4,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	0,61±0,12
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	≤0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	≤0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	4,14±0,58
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	17,4±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	6,36±0,89
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	55,1±5,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	≤30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,79±0,57
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	240±22
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	14,4±4,3
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	3,06±0,80
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	3,18±0,38

Анализ выполнил:

К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ИГПИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессов ЕНИ ИГПИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №272-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 272-16

Место отбора пробы: №32, 403 аА взломный горизонт

Дата отбора: 03.11.16

Дата доставки в лабораторию: 03.11.16

Дата выполнения анализов: 03.11.16 – 08.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КС-100	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-40(1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасерит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-1060(1)	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МВИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	92±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	39,3±3,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	9,99±1,00
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	3,65±0,51
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	17,1±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	7,6±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	22,6±2,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	3,47±0,27
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	1,87±0,28
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	140±13
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	<5
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,65±,17
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,11±0,25

Анализ выполнил:

К.с.н. – старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНН ПН ИУ



Порошина Н.В.

Максимович Н.А.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией является нарушением правил ЕНН ПН ИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: из 1 страниц

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №273-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 273-16

Место отбора пробы: №33, 405 аА-азовый горизонт

Дата отбора: 03.11.16

Дата доставки в лабораторию: 05.11.16

Дата выполнения анализов: 03.11.16 – 08.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КСинт-	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электропроводящий комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	9,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	<6,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	45,8±9,6
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	38,5±3,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	11,1±1,11
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	2,46±0,34
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	23,6±0,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	6,52±0,91
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	10,0±1,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	1,18±0,19
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	1,06±0,16
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	100±9
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	6,7±2,0
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,72±0,19
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,89±0,11

Анализ выполнил:

К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессов ЕНИ ИГНИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный научный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №274-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 274-16

Место отбора пробы: №34, 407 низинносолончатый горизонт

Дата отбора: 03.11.16

Дата доставки в лабораторию: 03.11.16

Дата выполнения анализов: 03.11.16 – 08.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КС-10	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Флазорит	6386	16/1887	20.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	20.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «Ф-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	9,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	106±13
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	13340±13
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	4376,0±4,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	6,15±0,86
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	24,7±2,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	7659,0±3,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	493,8±49
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	984,9±4,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	8,86±0,30
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	88±13
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	30000±2100
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	-
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	2,84±,71
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	5,59±0,67

Прим. -- метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ

Анализ выполнил:

К.с.н. – старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПНЦНУ



Порошина Н.В.

Максимович Н.А.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией химии технологий процессов ЕНИ ПНЦНУ запрещено

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: из 1 страница

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №275-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 275-16

Место отбора пробы: №35, 479 ТП тело плотины

Дата отбора: 04.11.16

Дата доставки в лабораторию: 04.11.16

Дата выполнения анализов: 04.11.16 – 09.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КС-100	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-40(1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электро-стеклянный комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	170±20
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	22,8±2,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	40,0±4,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	3,37±0,47
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	17,4±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	7,3±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	51,1±5,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	≥30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,45±0,52
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	316±28
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	24,3±7,3
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,74±,19
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,83±0,34

Анализ выполнил:

К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ИГПИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессом ЕНИ ИГПИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №276-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 276-16

Место отбора пробы: №36, 480 ТП тело плотины

Дата отбора: 04.11.16

Дата доставки в лабораторию: 04.11.16

Дата выполнения анализов: 04.11.16 – 09.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КСинт-	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрод стеклянный комбинированный ЭСК-10601/7	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	150±8
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	25,9±2,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	43,3±4,3
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	0,31±0,09
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	≤0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	≤0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	3,01±0,42
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	16,3±1,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	6,71±0,94
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	50,3±5,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	≤30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,35±0,50
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	252±23
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	<5
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	<0,5
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,50±0,30

Анализ выполнил:
К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ИГПИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессом ЕНИ ИГПИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №277-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 277-16

Место отбора пробы: №37, 423-аллювиальный горизонт

Дата отбора: 04.11.16

Дата доставки в лабораторию: 04.11.16

Дата выполнения анализов: 04.11.16 – 09.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КС-100	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электрода стеклянный комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	6,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	343±41
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	25,9±2,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	0,76±0,15
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	0,48±0,13
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	≤0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	7,6±1,1
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	1,06±0,21
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	14,3±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	15,0±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	81,0±8,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	≈30
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	5,60±0,85
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	350±32
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	14,0±4,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,88±0,23
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	5,71±,69

Анализ выполнил:

К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Порошина Н.В.

Малосимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессом ЕНИ ИГНИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №278-16

Объект КХА: поверхностная вода
Лабораторный номер пробы: 278-16
Место отбора пробы: №38, Вдхр. ВЕ, в районе пойменной тп.
Дата отбора: 04.11.16
Дата доставки в лабораторию: 04.11.16
Дата выполнения анализов: 04.11.16 – 09.11.16
Объем отобранной пробы: 3,5 дм³
Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Знаковый номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода Калла	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0312035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электро-стеклянный комбинированный ЭСК-1060/1	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	117±14
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	68,7±6,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	113±11
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	0,60±0,12
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	≤0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	≤0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	7,4±1,0
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	30,3±3,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	11,3±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	66,1±6,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	0,69±0,14
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	4,45±0,65
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	434±39
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	14,0±4,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,56±0,15
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	1,95±0,23

Анализ выполнил:
К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке Е.И.И. ПГНИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией государственной природоохранной биологической заповедника запрещены

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №279-16

Объект КХА: поверхностная вода

Лабораторный номер пробы: 279-16

Место отбора пробы: №39, Вдхр. ВЕ, устье реч. Грязный

Дата отбора: 04.11.16

Дата доставки в лабораторию: 04.11.16

Дата выполнения анализов: 04.11.16 – 09.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КС-100	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «Ф-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электро-стеклянный комбинированный ЗСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	191±23
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	37,8±3,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	163±16
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	12,8±1,3
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	≤0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	≤0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	1,74±0,35
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	15,8±1,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	14,6±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	108±11
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	0,53±0,11
14.	Жесткость	°Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	6,9±1,1
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	496±44
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	8,0±2,4
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,50±0,13
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	3,19±0,38

Анализ выполнил:

К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией государственной природоохранной биологической заповедника запрещены

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №280-16

Объект КХА: поверхностная вода
Лабораторный номер пробы: 280-16
Место отбора пробы: №40, Вдхр. ВЕ, ЦБК
Дата отбора: 04.11.16
Дата доставки в лабораторию: 04.11.16
Дата выполнения анализов: 04.11.16 – 09.11.16
Объем отобранной пробы: 3,5 дм³
Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода Калыб	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электропроводящий комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	157±19
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	32,8±3,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	262±13
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	2,76±0,39
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	19,0±1,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	16,8±1,7
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	108±11
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	0,16±0,02
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	7,4±1,1
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	560±50
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	14,0±4,2
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	<0,5
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,62±0,31

Анализ выполнил:
К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией государственной природоохранной биологической заповедника ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №281-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 281-16

Место отбора пробы: №41, 475, тело-плотина

Дата отбора: 09.11.16

Дата доставки в лабораторию: 09.11.16

Дата выполнения анализов: 09.11.16 – 14.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода Калма-	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0-1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электро-стеклянный комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	161±19
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	22,7±2,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	21,2±2,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	3,41±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	14,7±1,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	6,69±0,94
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	53,0±5,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	≥30
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	3,05±0,46
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	302±21
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	12,2±3,6
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	3,06±0,80
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	2,68±0,32

Анализ выполнил:

К.А.В., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ИГПИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессов ЕНИ ИГПИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №282-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 282-16

Место отбора пробы: №42, 438У, шешминский (уражумский горизонт)

Дата отбора: 09.11.16

Дата доставки в лабораторию: 09.11.16

Дата выполнения анализов: 09.11.16 – 14.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерений:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калиброванного электрода КС-100	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жесткости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жесткости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электропроводящий комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	497±60
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	54,0±5,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	144±14
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	3,53±0,49
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	35,7±3,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	21,4±2,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	185,7±19
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	21,00±0,18
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	11,2±1,7
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	758±68
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	17,8±5,3
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	1,66±0,43
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	8,15±0,98

Анализ выполнил:
К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Малосимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии закончена
процессом ЕНИ ПГНИУ запрещен

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Министерство образования и науки РФ
Естественный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета
ПРОТОКОЛ КХА №283-16

Объект КХА: подземная вода

Лабораторный номер пробы: 283-16

Место отбора пробы: №43, 439аУ, шельфовский (буржумский) горизонт

Дата отбора: 09.11.16

Дата доставки в лабораторию: 09.11.16

Дата выполнения анализов: 09.11.16 – 14.11.16

Объем отобранной пробы: 3,5 дм³

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1.	Система калибровочного электрода Калма	1407	16/11865	14.12.2016 г.
2.	Анализатор жидкости Эксперт-001-4(0.1)	6350	16/1902	22.03.2017 г.
3.	Анализатор жидкости Фасарит	6386	16/1887	26.03.2017 г.
4.	Спектрофотометр UNICO 1200	0912035	16/1888	26.03.2017 г.
5.	Весы электронные лабораторные «ФН-202	14239483	13/5044	28.03.2017 г.
6.	Электро-стеклянный комбинированный ЭСК-10601/2	04169	16/2752	03.04.2017 г.

1	2	3	4	5
№ п/п	Компоненты и показатели	Ед. изм.	МНИ	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2-3-4.121-97	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	55,2±6,6
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	111±11
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	1,25±0,25
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157-99	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	0,59±0,12
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	2,51±0,35
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	30,2±3,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	6,79±0,95
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167-2000	42,8±4,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-2-95	23,00±0,18
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954-2012, метод А	2,63±0,40
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261-10	182±16
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.190-03	<5
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2-3-4.123-97	0,57±0,15
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957-2012, метод А.2	0,92±0,11

Анализ выполнил:
К.А.В. старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Порошина Н.В.

Мажимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией государственной природоохранной биологической заповедника запрещены

Дата выдачи протокола: 21.11.2016

Количество страниц: на 1 странице

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nsi@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №1-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 310а тело плотины (русл. пл.)

Идентификация образца: №44

Лабораторный номер пробы: 1-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 18.01.2017

Дата выполнения анализов: 18.01.2017 - 24.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	178±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	29,8±3,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	27,1±2,7
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,61±0,12
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,71±0,38
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,9±1,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,29±0,88
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	51,6±5,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,70±0,56
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	233±21
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	6,1±1,8
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,74 ±0,19
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,96±0,36

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протоколов без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 25.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №2-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 403 аА аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №45

Лабораторный номер пробы: 2-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 18.01.2017

Дата выполнения анализов: 18.01.2017 -24.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	93±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	37,2±3,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	6,26±0,63
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,75±0,35
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,3±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,42±0,48
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,77±0,95
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,90±0,29
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	285±26
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,2±1,5
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,55±0,19

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протоколов без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 25.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nmg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №3-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 405 аА аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №46

Лабораторный номер пробы: 3-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 18.01.2017

Дата выполнения анализов: 18.01.2017 -24.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	12±2,4
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	20±4,1
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	36,3±3,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	5,22±0,52
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,98±0,40
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	20,4±2,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,18±0,59
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	5,81±0,81
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,80±0,12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	106±10
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,64±0,33

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 25.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г.Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nsi@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №4-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 407 низкосоленый горизонт

Идентификация образца: №47

Лабораторный номер пробы: 4-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 18.01.2017

Дата выполнения анализов: 18.01.2017 -24.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	58,8±7,1
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	10950±11
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	149±15
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,30±0,11
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	26,7±0,27
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6520,0±3,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	397,1±2,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	798,8±4,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	80±12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	25000±1700
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,58 ±0,15
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	5,40±0,65

Прим.:* - метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Отметка об отклонении от регламентированной методики испытаний: -.

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заступающего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 25.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nmg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №5-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 480 ТП тело плотины

Идентификация образца: №48

Лабораторный номер пробы: 5-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 19.01.2017

Дата выполнения анализов: 19.01.2017 - 26.01.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	143±17
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	83,3±8,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	35,1±3,5
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,33±0,09
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,98±0,42
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	49,8±5,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,9±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	51,1±5,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,45±0,52
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	382±34
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,9±1,8
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,58 ±0,15
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,38±0,29

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nmg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №6-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 479 ТП тело плотины

Идентификация образца: №48

Лабораторный номер пробы: 6-17

Дата отбора: 19.01.17

Дата доставки в лабораторию: 19.01.2017

Дата выполнения анализов: 19.01.2017 - 25.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	170±20
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	34,2±3,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	35,1±3,5
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,38±0,11
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,43±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,5±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,07±0,99
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	56,6±5,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,80±0,57
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	357±32
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	7,0±2,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,59 ±0,15
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,84±0,34

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

Итого страниц:

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: msgg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №7-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 423 адлювиальный горизонт

Идентификация образца: №50

Лабораторный номер пробы: 5-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 19.01.2017

Дата выполнения анализов: 19.01.2017 - 25.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	358±43
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	25,2±2,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,71±0,14
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,29±0,08
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,15±1,0
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,95±0,19
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,9±1,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	13,0±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	77,3±3,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	5,63±0,84
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	416±37
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	17,5±5,3
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,54 ±0,40
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	5,98±0,72

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

Итого страниц:

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nmg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №8-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 475 тело плотина

Идентификация образца: №48

Лабораторный номер пробы: 8-17

Дата отбора: 18.01.17

Дата доставки в лабораторию: 19.01.2017

Дата выполнения анализов: 19.01.2017 - 25.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	173±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	41,4±4,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	39,9±4,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,42±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	16,8±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,5±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	67,5±3,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,15±0,62
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	309±28
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	8,2±2,4
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,54 ± 0,14
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,90±0,34

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nigg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №9-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: Вдхр. ВВ, в районе пойменной пл.

Идентификация образца: №52

Лабораторный номер пробы: 9-17

Дата отбора: 19.01.17

Дата доставки в лабораторию: 19.01.2017

Дата выполнения анализов: 19.01.2017 - 25.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	100±12
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	99,8±10,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	25,1±2,5
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,68±0,34
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	10,0±1,4
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	38,7±3,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,6±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	38,3±3,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,42±0,08
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,26±0,49
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	289±26
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	16,4±4,9
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	5,23 ±0,68
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,66±0,20

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: shug@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №10-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 438У, шевининский (уражумский) горизонт

Идентификация образца: №48

Лабораторный номер пробы: 10-17

Дата отбора: 19.01.17

Дата доставки в лабораторию: 19.01.2017

Дата выполнения анализов: 19.01.2017 - 25.01.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	6,7±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	612±73
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	80,8±8,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	177±18
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,19±0,45
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	35,2±3,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	20,7±2,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	210,0±4,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	19,4±2,9
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	992±89
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	13,3±4,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,05 ± 0,27
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	10,2±1,2

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

Итого страниц:

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №11-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 439 аУ, шешминский (ураумский) горизонт

Идентификация образца: №54

Лабораторный номер пробы: 11-17

Дата отбора: 20.01.17

Дата доставки в лабораторию: 20.01.2017

Дата выполнения анализов: 20.01.2017 - 26.01.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	80,7±9,7
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	76,0±7,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,94±0,19
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,29±0,26
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	29,3±2,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	9,2±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	24,2±2,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	2,25±0,34
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	229±21
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	10,1±3,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,35±0,16

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: smgg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №12-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: Вдхр, ВБ, устье руч. Грязный

Идентификация образца: №55

Лабораторный номер пробы: 12-17

Дата отбора: 20.01.17

Дата доставки в лабораторию: 20.01.2017

Дата выполнения анализов: 20.01.2017 - 26.01.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,7±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	196±23
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	43,6±4,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	99,9±10,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	14,9±1,5
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,10±0,29
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,0±0,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,8±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	90,9±9,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	0,07±0,02
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	6,41±0,96
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	461±41
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,8±1,7
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,26±0,39

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Исчерпано

получено протокол без разрешения выдущего в научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ заказчика.

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: mgg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №13-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: Вдхр. ВВ, ЦБК

Идентификация образца: №56

Лабораторный номер пробы: 13-17

Дата отбора: 20.01.17

Дата доставки в лабораторию: 20.01.2017

Дата выполнения анализов: 20.01.2017 - 26.01.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	110±13
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	88,1±8,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	46,2±4,6
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,49±0,30
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,69±0,14
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	9,0±1,3
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	35,9±3,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,1±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	45,6±4,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,54±0,11
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,50±0,53
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	389±35
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	25,9±7,8
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,08 ±0,28
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,84±0,22

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 28.01.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №59-17

Заказчик: ЕНИ ИГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 310а тело плотины (русл. пл.)
Идентификация образца: №57
Лабораторный номер пробы: 59-17
Дата отбора: 17.03.17
Дата доставки в лабораторию: 17.03.2017
Дата выполнения анализов: 17.03.2017 - 21.03.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	197±24
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3,2±1,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	26,1±2,6
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,28±0,26
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,08±0,43
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	13,9±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,71±0,94
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	64,9±6,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,95±0,59
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	263±24
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	14,0±4,2
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,34±0,35
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,28±0,39

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Торощина И.В.

Михеичевич И.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ИГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 24.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)239-748, e-mail: msgg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №60-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 403 дА аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №38

Лабораторный номер пробы: 60-17

Дата отбора: 17.03.17

Дата доставки в лабораторию: 17.03.2017

Дата выполнения анализов: 17.03.2017 - 21.03.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 МД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	95±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	37,6±3,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3,90±0,78
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,24±0,07
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,46±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	19,4±1,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,3±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,9±2,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,90±0,29
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	183±16
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	9,3±2,8
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,87±0,23
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,58±0,19

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 24.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №61-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 405 аА аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №57

Лабораторный номер пробы: 61-17

Дата отбора: 17.03.17

Дата доставки в лабораторию: 17.03.2017

Дата выполнения анализов: 17.03.2017 - 21.03.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	13,2±3,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	19,0±4,3
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	36,9±3,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	6,90±0,69
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,97±0,39
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	23,5±2,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,82±0,67
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,02±0,98
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	1,24±0,11
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,93±0,14
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	131±12
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	11,6±3,5
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,54±0,14
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,31±0,07

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 24.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: shag@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №62-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 407 низкосоливамский горизонт

Идентификация образца: №60

Лабораторный номер пробы: 62-17

Дата отбора: 17.03.17

Дата доставки в лабораторию: 17.03.2017

Дата выполнения анализов: 17.03.2017 - 21.03.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	63,0±7,8
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	11147±11
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3375,0±3,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	18,50±0,19
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	58,54±0,59
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7246,0±3,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	477,4±2,4
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	924,2±4,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	81±12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	28000±2000
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,91±0,24
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	5,15±0,62

Прим.: * - метод неприменим ввиду высокого содержания mentioned веществ.

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Отвечает за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Переписка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 24.03.2017

На 1 странице.

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: shag@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №63-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 423 аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №61

Лабораторный номер пробы: 63-17

Дата отбора: 17.03.17

Дата доставки в лабораторию: 17.03.2017

Дата выполнения анализов: 17.03.2017 - 21.03.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	390±47
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	20,8±2,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	20,5±2,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,66±0,93
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,86±0,17
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	23,2±2,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	16,0±1,6
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	77,4±3,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,70±0,56
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	6,11±0,92
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	19,5±5,8
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,42±0,37
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	6,50±0,78

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача для копирования протоколов без разрешения указанного научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 24.03.2017

На 1 странице.

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nigg@pmu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №64-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 475 тело платины

Идентификация образца: №62

Лабораторный номер пробы: 64-17

Дата отбора: 18.03.17

Дата доставки в лабораторию: 18.03.2017

Дата выполнения анализов: 18.03.2017 - 22.03.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	177±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	60,4±6,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	36,2±3,6
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,60±0,12
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,89±0,54
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	20,0±2,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,66±1,21
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	59,1±3,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,43±0,66
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	328±30
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	17,8±5,3
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,53±0,14
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,95±0,35

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения Заказчика (научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ) запрещена

Дата выдачи протокола: 27.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №65-17

Заказчик: ЕНИ ИГНИУ
Объект КХА: вода природная поверхностная
Место отбора: Вдхр. ВВ, в районе пойменной пл.
Идентификация образца: №63
Лабораторный номер пробы: 65-17
Дата отбора: 18.03.17
Дата доставки в лабораторию: 18.03.2017
Дата выполнения анализов: 18.03.2017 - 22.03.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	131±16
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	134±13
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	43,5±4,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3,70±0,74
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,9±1,2
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	59,0±2,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,5±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	55,8±2,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	1,71±0,27
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,09±0,61
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	466±42
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	16,4±4,9
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,22±0,32
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,19±0,26

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Передача или копирование протокола без разрешения заступающего заведующего лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ИГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 27.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipr.ru

ПРОТОКОЛ КХА №66-17

Заказчик: ЕНИ ИГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 438У, шешминский (уржумский) горизонт
Идентификация образца: №64
Лабораторный номер пробы: 66-17
Дата отбора: 18.03.17
Дата доставки в лабораторию: 18.03.2017
Дата выполнения анализов: 18.03.2017 - 22.03.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	652±78
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	77,7±7,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	20,0±2,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,16±0,23
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,10±0,43
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	40,9±4,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	24,0±2,4
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	122,9±2,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	11,3±1,7
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	923±83
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	25,1±7,5
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,96±0,25
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	10,9±1,3

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен
К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ



Передача или копирование протокола без разрешения замещающего научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ИГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 27.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396748, e-mail: ian@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №67-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 439 аУ, шешминский (уржумский) горизонт
Идентификация образца: №65
Лабораторный номер пробы: 67-17
Дата отбора: 18.03.17
Дата доставки в лабораторию: 18.03.2017
Дата выполнения анализов: 18.03.2017 - 22.03.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	107±13
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	88,9±8,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,94±0,19
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,25±0,25
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	32,2±3,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,1±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	26,1±2,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	2,48±0,37
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	298±27
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	23,4±7,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,02±0,27
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,79±0,21

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: shag@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №68-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: Вдхр. ВВ, устье руч. Грязный

Идентификация образца: №66

Лабораторный номер пробы: 68-17

Дата отбора: 18.03.17

Дата доставки в лабораторию: 18.03.2017

Дата выполнения анализов: 18.03.2017 - 22.03.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	200±24
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	78,0±7,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	84,4±8,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	9,64±0,96
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,45±0,29
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	30,7±3,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,5±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	52,0±2,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,88±0,18
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	6,20±0,93
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	489±44
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	25,3±7,6
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,64±0,17
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,33±0,40

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам. директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.03.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: nio@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №69-17

Знакчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная поверхностная
Место отбора: Вдхр. ВВ, ЦБК
Идентификация образца: №67
Лабораторный номер пробы: 69-17
Дата отбора: 18.03.17
Дата доставки в лабораторию: 18.03.2017
Дата выполнения анализа: 18.03.2017 - 22.03.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	НД на метод измерений	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	169±20
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	85,6±8,6
5.	Сульфид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	132±13
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,23±0,45
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,3±1,0
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	42,0±4,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	15,0±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	76,6±3,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,45±0,09
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	5,93±0,89
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	586±53
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	17,7±5,3
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,68±0,44
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,82±0,34

Отметка об отклонении от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнен:
К.э.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения выдающего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещены.

Дата выдачи протокола: 27.03.2017

На 1 странице.

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №112-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 310а тело плотины (русл. тд.)
Идентификация образца: №68
Лабораторный номер пробы: 112-17
Дата отбора: 17.04.17
Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017
Дата выполнения анализов: 17.04.2017 - 22.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	171±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	20,8±2,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	21,6±2,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	32,6±3,3
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,23±0,45
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	13,1±1,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,52±0,91
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	56,5±2,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,80±0,57
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	247±22
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	6,5±2,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,68±0,18
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,85±0,34

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №113-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 363 аллювиальный горизонт (русл. пл.)
Идентификация образца: №69
Лабораторный номер пробы: 113-17
Дата отбора: 17.04.17
Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017
Дата выполнения анализов: 17.04.2017 - 22.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 МД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	24,4±5,1
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,10±0,50
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,94±0,19
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,66±0,13
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,06±0,21
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,12±0,22
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,4±1,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,15±0,05
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	41±7
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,70±0,26
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,41±0,09

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ осуществил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Лист 1 страниц

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №114-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 403 аА аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №70

Лабораторный номер пробы: 114-17

Дата отбора: 17.04.17

Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017

Дата выполнения анализов: 17.04.2017 -22.04.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	<6,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	88±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	38,2±3,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,61±0,32
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,57±0,11
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,53±0,49
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	19,1±1,9
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,4±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	18,8±1,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,83±0,27
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	142±13
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	7,2±2,2
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,76±0,20
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,47±0,18

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №115-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 405 аА аллювиальный горизонт
Идентификация образца: №71
Лабораторный номер пробы: 115-17
Дата отбора: 17.04.17
Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017
Дата выполнения анализов: 17.04.2017 - 22.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	13,8±3,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	17,7±3,7
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	36,3±3,6
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	6,20±0,62
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,45±0,13
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,10±0,29
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	23,8±2,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,37±0,61
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,82±0,53
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	1,14±0,16
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,84±0,13
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	114±10
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,29±0,07

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Передача или копирование протоколов без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Из 1 страницы

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iing@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №116-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 407 низкессольемский горизонт
Идентификация образцов: №72
Лабораторный номер пробы: 116-17
Дата отбора: 17.04.17
Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017
Дата выполнения анализов: 17.04.2017 - 22.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	42,0±4,8
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	11390±11
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3375±17
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,57±0,13
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	28,50±0,29
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7356,0±3,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	443,2±2,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	824,2±4,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	83±12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	25800±1800
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,16±0,30
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0

Прим.: * - метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Отметка об отклонении от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Передача или копирование протокола без разрешения Заказчика (научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ) запрещена

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Из 1 страницы

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №117-17

Заказчик: ЕНИ ПНИУ
Объект КХА: вода природная поверхностная
Место отбора: 475 тело платины
Идентификация образца: №73
Лабораторный номер пробы: 117-17
Дата отбора: 18.04.17
Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017
Дата выполнения анализа: 18.04.2017 - 23.04.2017
Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	183±22
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	70,0±7,0
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	38,6±3,9
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,79±0,53
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,6±2,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,8±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	63,0±3,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,70±0,71
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	374±34
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	8,7±2,6
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,06±0,37

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №118-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: горы, древня в млт канаве, у пьезометра 479

Идентификация образца: №74

Лабораторный номер пробы: 118-17

Дата отбора: 18.04.17

Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017

Дата выполнения анализа: 18.04.2017 -23.04.2017

Количество пробы: 2,0 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	203±24
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	39,4±3,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	21,1±2,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,95±0,41
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,8±1,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,28±0,88
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	53,7±2,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф14.1.2.2	1,41±0,23
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,15±0,62
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	305±27
16.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,39±0,41

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

Порошина Н.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №119-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 423 аллювиальный горизонт
Идентификация образца: №75
Лабораторный номер пробы: 119-17
Дата отбора: 18.04.17
Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017
Дата выполнения анализов: 18.04.2017 - 23.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	390±47
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	22,3±2,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,56±0,11
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	30,5±3,1
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,96±0,19
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,4±1,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,9±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	72,3±3,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	5,98±0,90
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	395±36
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	16,8±5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	2,22±0,58
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	6,50±0,78

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ


Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №120-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: гориз. дренаж в маг. канаве, у пьезометра #23

Идентификация образца: №76

Лабораторный номер пробы: 120-17

Дата отбора: 18.04.17

Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017

Дата выполнения анализа: 18.04.2017 - 23.04.2017

Количество пробы: 2,0 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	220±26
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	48,3±4,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	12,3±1,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,67±0,51
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,1±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,2±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	52,3±2,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,16±0,62
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	336±30
16.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,66±0,44

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнил:

К.Х.Н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Параметры для контроля при отборе без разрешения государственного научно-исследовательского лаборатория геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ: порошина

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@pmu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №121-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: ВДхр, ВБ, в районе пойменной пл.

Идентификация образца: №77

Лабораторный номер пробы: 121-17

Дата отбора: 18.04.17

Дата доставки в лабораторию: 17.04.2017

Дата выполнения анализов: 18.04.2017 - 23.04.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,7±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	32,0±3,8
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	23,3±2,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	8,36±0,84
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,75±0,15
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,00±0,40
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	9,1±1,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,57±0,31
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	9,4±1,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	0,55±0,05
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,83±0,12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	69±6
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,2±1,6
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,02±0,27
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,53±0,06

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах

Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: imgg@pmu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №122-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная поверхностная
Место отбора: Влхр. ВВ, устье руч. Грязный
Идентификация образца: №78
Лабораторный номер пробы: 122-17
Дата отбора: 19.04.17
Дата доставки в лабораторию: 19.04.2017
Дата выполнения анализов: 19.04.2017 - 25.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	139±17
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	71,9±7,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	88,6±8,9
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	20,3±2,0
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,50±0,49
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,83±0,96
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	37,6±3,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,4±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	39,1±3,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	1,64±0,16
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,83±0,72
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	490±44
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	20,4±6,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,89±0,50
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,32±0,28

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Из 1 страниц

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №123-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная поверхностная
Место отбора: Вдхр. ВБ, ЦБК
Идентификация образца: №79
Лабораторный номер пробы: 123-17
Дата отбора: 19.04.17
Дата доставки в лабораторию: 19.04.2017
Дата выполнения анализов: 19.04.2017 - 25.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	12,8±2,7
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3,40±0,81
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,83±0,57
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,13±0,30
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,30±0,06
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,11±0,30
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	0,29±0,06
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,16±0,15
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	41±7
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,29±0,33
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,21±0,04

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ осуществил:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

 Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №124-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 439 аУ, шешминский (уржумский) горизонт

Идентификация образца: №80

Лабораторный номер пробы: 124-17

Дата отбора: 19.04.17

Дата доставки в лабораторию: 19.04.2017

Дата выполнения анализов: 19.04.2017 - 25.04.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	93±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	85,4±8,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,5
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,45±0,09
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,24±0,25
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	29,6±3,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,0±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,8±2,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	2,38±0,36
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	255±23
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	13,2±4,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,55±0,19

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Иг 1 страница

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@pmu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №125-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 438У, шешминский (уржумский) горизонт
Идентификация образца: №81
Лабораторный номер пробы: 122-17
Дата отбора: 19.04.17
Дата доставки в лабораторию: 19.04.2017
Дата выполнения анализов: 19.04.2017 - 25.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	666±54
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	131±13
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	98,9±9,9
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,50±0,30
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,72±0,52
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	38,3±3,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	24,7±2,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	148,6±3,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	14,8±2,2
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	961±86
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	17,4±5,2
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	11,1±0,89

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протоколов без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 27.04.2017

Из 1 страницы

В 3-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №126-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 310а тело плотины (русл. тд.)
Идентификация образца: №82
Лабораторный номер пробы: 126-17
Дата отбора: 25.04.17
Дата доставки в лабораторию: 25.04.2017
Дата выполнения анализов: 25.04.2017 - 30.04.2017
Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	185 ±22
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	44,8±4,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	13,9±1,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,40±0,28
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,73±0,52
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	16,6±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,62±0,93
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	54,5±2,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	3,88±0,58
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	281±26
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	8,1±2,4
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,96±0,25
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,09 ±0,37

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -:

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ


Порошина И.В.
Максимович И.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №127-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 363 адновальный горизонт (русл. пл.)

Идентификация образца: №83

Лабораторный номер пробы: 127-17

Дата отбора: 25.04.17

Дата доставки в лабораторию: 25.04.2017

Дата выполнения анализов: 25.04.2017 - 30.04.2017

Количество пробы: 1,0 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1:2:3-4.121	8,0±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	18,6±3,9
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157	2,23±0,53
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157	1,10±0,22
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157	1,39±0,28
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167	<0,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167	1,44±0,29
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167	0,67±0,13
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.167	8,3±1,2
13.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,11±0,05
14.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2-4.261	34±6
15.	Общая жесткость	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,53±0,31

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник:

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович П.Г.

Передача на контроль протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №128-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 403 аА аллювиальный горизонт
Идентификация образца: №84
Лабораторный номер пробы: 128-17
Дата отбора: 25.04.17
Дата доставки в лабораторию: 25.04.2017
Дата выполнения анализов: 25.04.2017 - 30.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	<0,1
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	88±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	36,7±3,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,80±0,36
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,44±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	18,0±1,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,76±0,95
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	15,8±1,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,83±0,27
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	138±12
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,8±1,7
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,68±0,18
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,61 ±0,19

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iing@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №129-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: Гориз. дренаж в маг. канаве, у пьезометра 479

Идентификация образца: №85

Лабораторный номер пробы: 126-17

Дата отбора: 25.04.17

Дата доставки в лабораторию: 25.04.2017

Дата выполнения анализов: 25.04.2017 - 30.04.2017

Количество проб: 2,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	202 ±24
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	35,3±3,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	21,4±2,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,12±0,44
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	15,9±1,6
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,33±0,89
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	55,7±2,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	1,38±0,22
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,00±0,60
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	302±27
16.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,37 ±0,40

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: imgg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №130-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 405 аА аллювиальный горизонт
Идентификация образца: №86
Лабораторный номер пробы: 130-17
Дата отбора: 25.04.17
Дата доставки в лабораторию: 25.04.2017
Дата выполнения анализов: 25.04.2017 - 30.04.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,7±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	13,8 ±2,9
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	18,7 ±3,8
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	34,0±3,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	5,30±0,53
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,83±0,37
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	20,8±2,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,05±0,57
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,23±0,59
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	1,34±0,22
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,95±0,14
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	98±9
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	6,3±1,9
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,77±0,09

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

 Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г.Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №131-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 407 низкосоливамский горизонт

Идентификация образца: №87

Лабораторный номер пробы: 131-17

Дата отбора: 25.04.17

Дата доставки в лабораторию: 25.04.2017

Дата выполнения анализов: 25.04.2017 - 30.04.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 МД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	58,8±12,6
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	11080±11
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3001±15
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	29,70±0,30
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6812,0±3,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	380,0±1,9
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	751,4±3,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	81±12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	22700±1600
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,95±0,51
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	5,98±0,72

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Прим.: * - метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина И.В.

Максимович П.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заступающего заведующего лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г.Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №132-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 409 ВС верхнесолдатовский горизонт
Идентификация образца: №88
Лабораторный номер пробы: 132-17
Дата отбора: 26.04.17
Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017
Дата выполнения анализов: 26.04.2017 - 01.05.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	18,0±3,6
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1265,8±6,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2898±14
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	5,20±0,05
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1528,80±3,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	161,0±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	186,9±1,3
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	20,1±3,0
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	6110±430
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,74±0,19
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,86±0,10

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Прим.: * - метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Анализ выполнен:

К.А.И., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Тороскина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заступающего научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №133-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 475 тело платины

Идентификация образца: №89

Лабораторный номер пробы: 133-17

Дата отбора: 26.04.17

Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017

Дата выполнения анализов: 26.04.2017 - 01.05.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,8±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	181±22
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	71,2±7,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	51,1±5,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,05±0,57
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	23,6±2,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	9,3±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	78,8±3,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,59±0,69
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	368±33
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	7,0±2,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,52±0,14
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,02±0,36

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г.Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iin@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №134-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 423 аллювиальный горизонт
Идентификация образца: №90
Лабораторный номер пробы: 134-17
Дата отбора: 26.04.17
Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017
Дата выполнения анализов: 26.04.2017 - 01.05.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 МД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	384±46
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	23,1±2,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,72±0,14
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	33,2±3,3
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,98±0,20
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	14,5±1,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	15,0±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	88,3±4,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	5,95±0,89
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	317±29
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	16,8 ±5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,98±0,52
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	6,40±0,77

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен
К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Передача или копирование протокола без разрешения Заказчика (научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ) запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №135-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: гориз. дренаж, у пьезометра 423 (ГД-521)

Идентификация образца: №91

Лабораторный номер пробы: 135-17

Дата отбора: 26.04.17

Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017

Дата выполнения анализов: 26.04.2017 - 01.05.2017

Количество пробы: 2,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	183±22
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	46,4±4,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	250±13
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,86±0,54
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	19,8±2,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	15,0±1,5
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	106,0±2,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,78±0,16
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	7,6±1,1
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	605±54
16.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,05±0,37

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнил:

К.ж.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Параметры для контроля при отборе без разрешения заказчика: научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ: не определены

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №136-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 439 аУ, шешминский (уржумский) горизонт

Идентификация образца: №92

Лабораторный номер пробы: 136-17

Дата отбора: 26.04.17

Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017

Дата выполнения анализов: 26.04.2017 - 01.05.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 МД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	94±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	91,0±9,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,5
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,31±0,26
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	30,4±3,0
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,4±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	26,6±2,7
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	2,43±0,36
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	222±20
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,56±0,19

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -:

Аналит выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протоколов без разрешения указанного научно-исследовательской лаборатории геологии (техногенных) процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №137-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 438У, шешминский (уржумский) горизонт

Идентификация образца: №93

Лабораторный номер пробы: 132-17

Дата отбора: 26.04.17

Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017

Дата выполнения анализов: 26.04.2017 - 01.05.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	564±68
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	253±13
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	82,2±8,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,64±0,53
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,50±0,49
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	54,1±1,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	26,00±0,73
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	230,2±4,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	15,6±2,3
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	1240±110
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	8,4 ±2,5
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	9,4±1,1

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Аналит выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Тороскина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача для копирования протоколов без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г.Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №138-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: Вдхр. ВВ, устье руч.Грязный

Идентификация образц: №88

Лабораторный номер пробы: 132-17

Дата отбора: 26.04.17

Дата доставки в лабораторию: 26.04.2017

Дата выполнения анализов: 26.04.2017 -01.05.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	90±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	21,7±2,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	37,7±3,8
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	6,95±0,70
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,21±0,59
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	13,9±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,96±0,39
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	34,9±3,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	2,58±0,39
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	219±20
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	23,8 ±7,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	1,71±0,44
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,49±0,18

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заступающего заведующего лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 03.05.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №172-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 310а тело плотины (русл. тд.)

Идентификация образца: №95

Лабораторный номер пробы: 183-17

Дата отбора: 08.06.17

Дата доставки в лабораторию: 08.06.17

Дата выполнения анализов: 08.06.17 - 10.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	194±23
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	54,3±5,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	25,4±2,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,65±0,13
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,94±0,55
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,5±1,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,4±1,0
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	57,3±2,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,38±0,66
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	346±31
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	16,6±5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,92±0,24
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,24±0,39

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протоколов без разрешения заступающего научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@pnu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №173-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 363 аллювиальный горизонт (русл. пл.)

Идентификация образца: №96

Лабораторный номер пробы: 184-17

Дата отбора: 08.06.17

Дата доставки в лабораторию: 08.06.17

Дата выполнения анализов: 08.06.17 - 13.06.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 МД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	170±20
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	97,1±9,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	49,6±4,7
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,94±0,19
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,68±0,14
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6,66±0,93
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	12,4±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	98,5±4,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,99±0,10
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	6,16±0,92
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	507±46
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,2±1,5
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,51±0,13
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,84±0,34

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: nimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №174-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 403 аА аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №97

Лабораторный номер пробы: 185-17

Дата отбора: 08.06.17

Дата доставки в лабораторию: 08.06.17

Дата выполнения анализа: 08.06.17 -13.06.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	94±11
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	41,2±4,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,97±0,19
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,34±0,47
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	18,0±1,8
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,7±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	20,6±2,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,76±0,26
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	139±13
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	10,4±3,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,57±0,19

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -:

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: mgg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №175-17

Заказчик: ЕНИ ПНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: Гориз. дренаж в маг. канаве, у пьезометра 479

Идентификация образца: №98

Лабораторный номер пробы: 186-17

Дата отбора: 08.06.17

Дата доставки в лабораторию: 08.06.17

Дата выполнения анализа: 08.06.17 - 13.06.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	220±26
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	40,9±4,1
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	19,8±2,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,26±0,46
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,2±1,7
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,5±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	69,8±3,5
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	1,37±0,22
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,40±0,66
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	319±29
16.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,67±0,44

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПНИУ



Параметры для контроля при отборе без нарушения технологического научно-исследовательского лабораторного процесса ЕНИ ПНИУ: порошина

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №176-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 405 аА адлювиальный горизонт

Идентификация образца: №99

Лабораторный номер пробы: 187-17

Дата отбора: 08.06.17

Дата доставки в лабораторию: 08.06.17

Дата выполнения анализов: 08.06.17 - 13.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	9,0±1,8
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	27,7±5,8
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	38,9±3,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	7,08±0,71
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,00±0,40
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	22,5±2,3
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	5,56±0,78
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,4±1,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	0,96±0,10
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	0,83±0,12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	117±11
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	5,8±1,7
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	0,54±0,14
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,76±0,16

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протоколов без разрешения Заказчика (научно-исследовательской лаборатории) или (технологических процессов) ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №177-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 407 низкосоливамский горизонт
Идентификация образца: №100
Лабораторный номер пробы: 188-17
Дата отбора: 08.06.17
Дата доставки в лабораторию: 08.06.17
Дата выполнения анализов: 08.06.17 - 13.06.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	75±9
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	11593,0±5,8
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3060,5±15,3
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	6451,0±3,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	383,0±1,9
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	808,4±4,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	80±12
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	25700±1800
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,96±0,25
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	6,60±0,79

Прим.: * - метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Отметка об отклонении от регламентированной методики испытаний: -.

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович П.Г.

Передача для копирования протоколов без разрешения указанного научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

На 1 странице
Страница 1 из 1

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nti@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №178-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 409 ВС верхнесодовикский горизонт
Идентификация образца: №101
Лабораторный номер пробы: 189-17
Дата отбора: 09.06.17
Дата доставки в лабораторию: 09.06.17
Дата выполнения анализов: 09.06.17 -14.06.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	9,5±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	33,6±4,2
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3053,8±15,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	7124,0±7,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3538,0±3,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	361,9±1,8
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	402,8±2,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	48,2±7,2
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	14900±1000
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	-
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	1,42±0,47
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	1,87±0,22

Прим.: * - метод неприменим ввиду высокого содержания мешающих веществ.

Отметка об отклонении от регламентированной методики испытаний: -.

Анализ выполнен:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Дорогина Н.В.

Максимович Н.Г.

Передача или копирование протокола без разрешения заступающего заведующего лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iung@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №179-17

Заказчик: ЕНИ ПНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 479 тело платины
Идентификация образца: №102
Лабораторный номер пробы: 190-17
Дата отбора: 09.06.17
Дата доставки в лабораторию: 09.06.17
Дата выполнения анализов: 09.06.17 -14.06.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	186±22
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	54,3±5,4
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	43,7±4,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,41±0,48
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,5±2,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,73±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	58,6±2,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,20±0,63
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	357±32
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	10,3 ±3,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,10 ±0,37

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -:

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПНИУ

Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №180-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 480 ТП тела платины

Идентификация образца: №103

Лабораторный номер пробы: 191-17

Дата отбора: 09.06.17

Дата доставки в лабораторию: 09.06.17

Дата выполнения анализов: 09.06.17 - 14.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	203±24
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	43,3±4,3
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	32,1±3,2
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,33±0,27
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,48±0,49
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	15,1±1,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	8,5±1,2
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	72,9±3,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,35±0,65
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	323±29
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,39±0,41

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович И.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №181-17

Заказчик: ЕНИ ИГНИУ
Объект КХА: вода природная подземная
Место отбора: 475 тело платины
Идентификация образца: №104
Лабораторный номер пробы: 192-17
Дата отбора: 09.06.17
Дата доставки в лабораторию: 09.06.17
Дата выполнения анализов: 09.06.17 - 14.06.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	230±28
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	88,8±8,9
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	49,7±5,0
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,98±0,60
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	5,15±0,72
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,7±2,2
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	13,8±1,4
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	101,5±2,0
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	6,23±0,93
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	495±45
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	7,1 ±2,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,83±0,46

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ИГНИУ

Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ИГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: ian@ipn.ru

ПРОТОКОЛ КХА №182-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 423 аллювиальный горизонт

Идентификация образца: №105

Лабораторный номер пробы: 193-17

Дата отбора: 09.06.17

Дата доставки в лабораторию: 09.06.17

Дата выполнения анализов: 09.06.17 - 14.06.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	378±45
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	25,3±2,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,5
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	7,6±1,1
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,62±0,32
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	14,2±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	16,1±1,6
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	88,8±1,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	5,90±0,89
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	350±32
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	23,8±7,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	6,20±0,74

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: mngg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №183-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: Гориз. дренаж в маг. канаве, у пьезометра 423

Идентификация образца: №106

Лабораторный номер пробы: 194-17

Дата отбора: 09.06.17

Дата доставки в лабораторию: 09.06.17

Дата выполнения анализов: 09.06.17 - 10.06.2017

Количество проб: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,1±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	223±27
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	67,2±6,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	6,74±0,67
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	4,74±0,66
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	20,7±2,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	10,6±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	72,2±3,6
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,59±0,69
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	393±35
16.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,71±0,45

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -

Анализ выполнил:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения руководства научно-исследовательской лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №184-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: Вдхр. ВВ, в районе пойменной платины

Идентификация образца: №107

Лабораторный номер пробы: 195-17

Дата отбора: 10.06.17

Дата доставки в лабораторию: 10.06.17

Дата выполнения анализов: 10.06.17 -15.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	40,7±4,9
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3,72±0,89
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	17,7±1,8
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,96±0,27
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,83±0,17
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,13±0,44
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,15±0,44
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	14,2±1,4
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	1,00±0,17
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,10±0,17
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	105±9
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	23,8 ±7,1
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,84±0,22
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,68±0,08

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iung@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №185-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 439 аУ, шешминский (уржумский) горизонт

Идентификация образца: №108

Лабораторный номер пробы: 196-17

Дата отбора: 10.06.17

Дата доставки в лабораторию: 10.06.17

Дата выполнения анализов: 10.06.17 - 15.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,6±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	69,9±8,4
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	86,9±8,7
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	1,04±0,21
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,81±0,16
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	25,19±2,5
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	10,9±1,1
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,8±2,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	2,23±0,33
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	290±26
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	<5,0
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	3,09 ±0,37

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №186-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: 438У, шешминский (уржумский) горизонт

Идентификация образца: №109

Лабораторный номер пробы: 197-17

Дата отбора: 10.06.17

Дата доставки в лабораторию: 10.06.17

Дата выполнения анализов: 10.06.17 -15.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,3±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	555±67
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	259,1±6,5
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	3,54±0,71
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,38±0,11
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,72±0,14
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	55,6±1,4
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	26,2±0,92
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	156,8±3,9
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	>2,0
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	12,5±1,9
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	1081±97
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	11,8±3,5
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	9,1±1,1

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: inn@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №187-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная

Место отбора: Вдхр. ВВ, устье руч.Грязный

Идентификация образца: №110

Лабораторный номер пробы: 198-17

Дата отбора: 10.06.17

Дата доставки в лабораторию: 10.06.17

Дата выполнения анализов: 10.06.17 -15.06.2017

Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	8,2±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	178±21
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	42,3±4,2
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	74,0±7,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	22,0±2,2
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	2,43±0,24
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	21,5±1,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	11,2±0,9
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	84,0±4,2
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,50±0,10
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	4,84±0,73
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	488±44
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	22,1 ±6,6
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	0,96±0,25
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	2,97±0,36

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -:

Анализ выполнен:

К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина И.В.

Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iimg@psu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №188-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ
Объект КХА: вода природная поверхностная
Место отбора: Влхр. ВВ, ЦБК
Идентификация образца: №111
Лабораторный номер пробы: 199-17
Дата отбора: 10.06.17
Дата доставки в лабораторию: 10.06.17
Дата выполнения анализов: 10.06.17 - 15.06.2017
Количество пробы: 3,5 дм³

1 № п/п	2 Показатель	3 Ед.изм.	4 ИД на метод измерений	5 Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3-4.121	7,4±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	43,4±5,2
4.	Хлорид-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	2,00±0,48
5.	Сульфат-ионы	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	20,8±2,1
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	0,91±0,25
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	0,53±0,11
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	1,69±0,34
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	3,24±0,45
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.167	17,7±1,8
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-2	0,64±0,13
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	1,13±0,17
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.261	94±9
16.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-4.190	25,4±7,6
17.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2-3-4.123	<0,5
18.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,72±0,09

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: - :

Анализ выполнен:
К.х.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:
Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ

Порошина И.В.
Максимович Н.Г.

Перепечатка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 11.09.2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гаскова, д.4, (342)2396-748, e-mail: nmg@pmu.ru

ПРОТОКОЛ КХА №197-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная поверхностная, вода природная подземная

Место отбора: 112-479 ТП тело плотины; 113 – ВДХр, ВБ, в районе пойменной плотины.

Идентификация образцов: №112-113

Лабораторный номер пробы: 218-17 – 219 – 17

Дата отбора: 24.07.17

Дата доставки в лабораторию: 24.07.17

Дата выполнения анализов: 24.07.-30.07.17

Количество пробы: 3,0 дм³

1	2	3	4	5	
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	НД на метод измерений	Результат КХА	
				Лабораторный номер	
				218-17	219-17
				Идентификация образцов	
				112	113
1.	Химическое потребление кислорода	мг/дм ³	ГОСТ Ф 14.1-2.4-100	15,7±4,7	50±15
2.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг/дм ³	ГОСТ Ф 14.1-2.3-1-123	<0,5	4,5±1,2

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:

К.с.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Передача или копирование результатов без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещено

Дата выдачи протокола: 20.08.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт

Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов

614990, г. Пермь, ул. Гамалея, д.4, (342)2396-748, e-mail: nio@perm.ru

ПРОТОКОЛ КХА №198-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Объект КХА: вода природная подземная

Место отбора: Горизонтальный артезиан 521

Идентификация образца: №114

Лабораторный номер пробы: 220 - 17

Дата отбора: 27.07.17

Дата доставки в лабораторию: 24.07.17

Дата выполнения анализов: 24.07.-30.07.17

Количество проб: 3,0 дм³

1	2	3	4	5
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	НД на метод измерений	Результат КХА
1.	Водородный показатель	pH	ПНД Ф 14.1.2.3.4.121	7,9±0,2
2.	Карбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	0,0
3.	Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	269±32
4.	Хлорид-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.157	68,9±6,9
5.	Сульфат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.157	64,4±6,4
6.	Нитрат-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.157	4,5±4,5
7.	Нитрит-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.157	<0,2
8.	Аммоний-ион	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.167	<0,5
9.	Калий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.167	3,75±0,53
10.	Натрий	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.167	20,5±2,1
11.	Магний	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.167	12,7±1,3
12.	Кальций	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.167	105,6±2,1
13.	Железо	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.2	1,18±0,19
14.	Жесткость	Ж	ГОСТ 31954, метод А	6,8±1,0
15.	Сухой остаток	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.261	463±42
17.	Химическое потребление кислорода	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.4.190	6,6±2,0
18.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1.2.3.4.123	<0,5
19.	Общая щелочность	ммоль/дм ³	ГОСТ Р 31957, метод А.2	4,48±0,54

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнен:

К.э.н., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Ц.В.

Максимов Н.Г.

Переписка для контроля: протокол без разногласий за подписью заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ - корректен

Дата выдачи протокола: 20.08.2017

На 1 странице

В 2-х экземплярах
Экземпляр 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Естественнонаучный институт
Научно-исследовательская лаборатория геологии техногенных процессов
614990, г. Пермь, ул. Гамкина, д.4, (342)2396-748, e-mail: iing@pru.ru

ПРОТОКОЛ КХА №248-17

Заказчик: ЕНИ ПГНИУ

Место отбора: 115-479 ТП тело плотины, 116 – ВДХр, ВБ, в районе пойменной плотины; 117-
Горизонтальный дренаж 521

Идентификация образца: №№115-117

Лабораторный номер пробы: 283-17 – 285-17

Дата отбора: 07.09.17

Дата доставки в лабораторию: 07.09.17

Дата выполнения анализов: 07.09.-12.09.17

Количество пробы: 3,0 дм³

1	2	3	4	5		
№ п/п	Показатель	Ед.изм.	ИД на метод измерений	Результат КХА		
				Лабораторный номер		
				283-17	284-17	285-17
				Идентификация образца		
			115	116	117	
1.	Химическое потребление кислорода	мг О/дм ³	ППЦ Ф 14.1.2-4.190	12,0±3,6	21,3±6,4	6,4±1,9
2.	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мг О/дм ³	ППЦ Ф 14.1.2-3.4.123	≤0,5	0,88±0,23	≤0,5

Отметка об отклонениях от регламентированной методики испытаний: -;

Анализ выполнил:

К.Х.п., старший научный сотрудник

Ответственный за выполнение работ:

Зам.директора по науке ЕНИ ПГНИУ



Порошина Н.В.

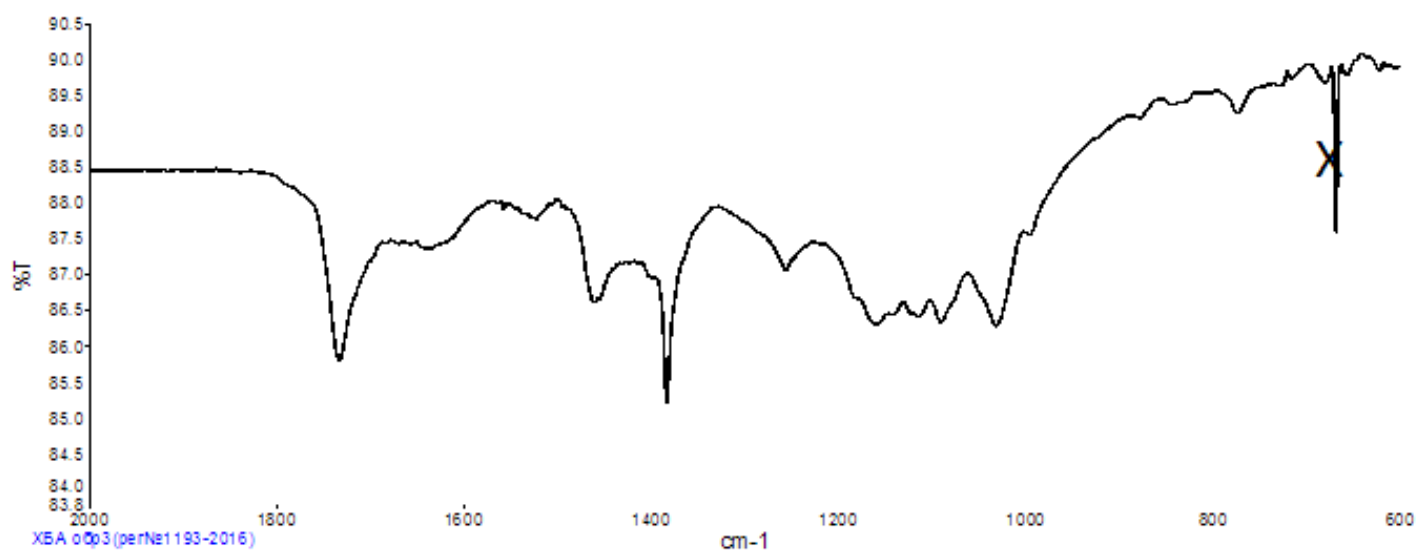
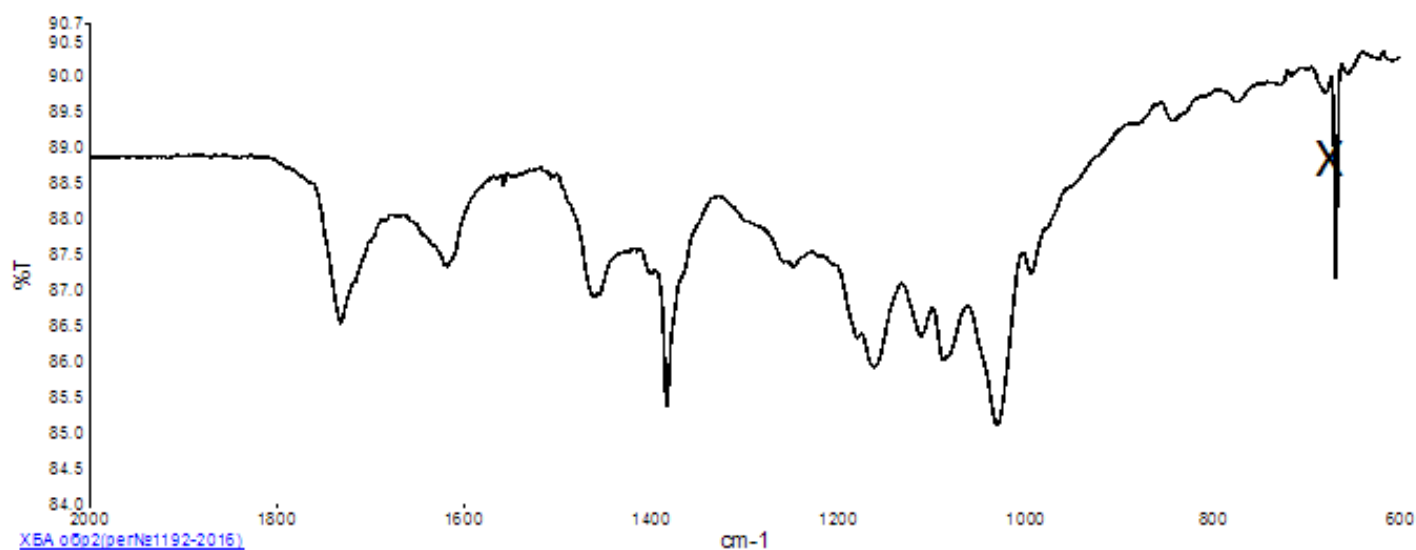
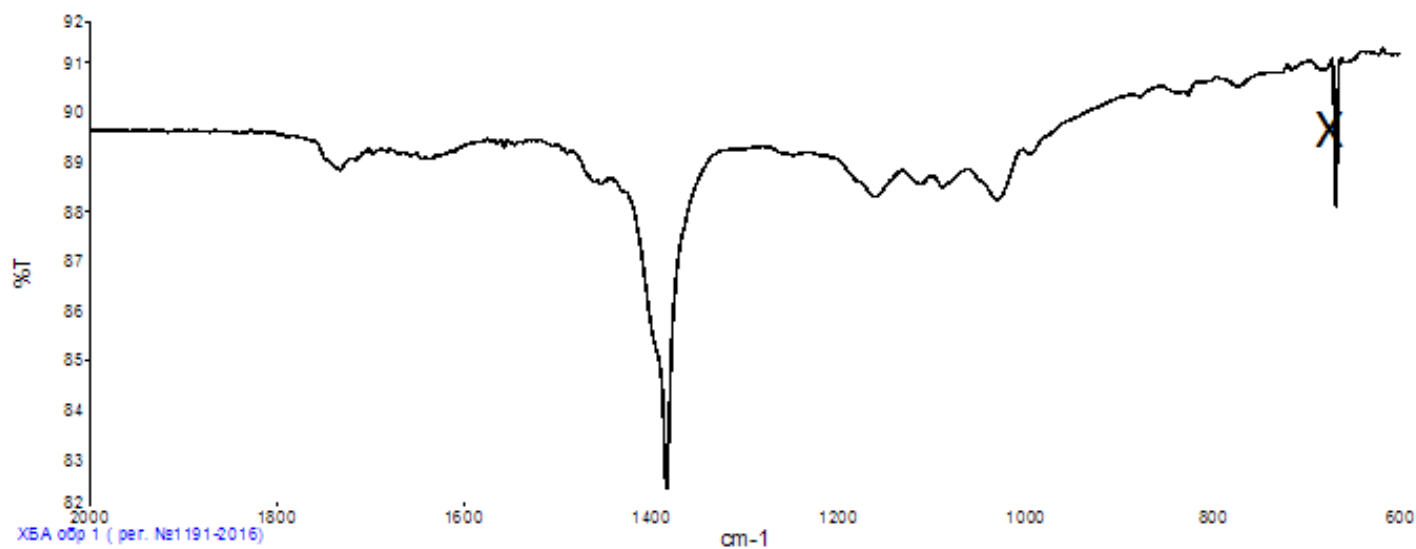
Максимович Н.Г.

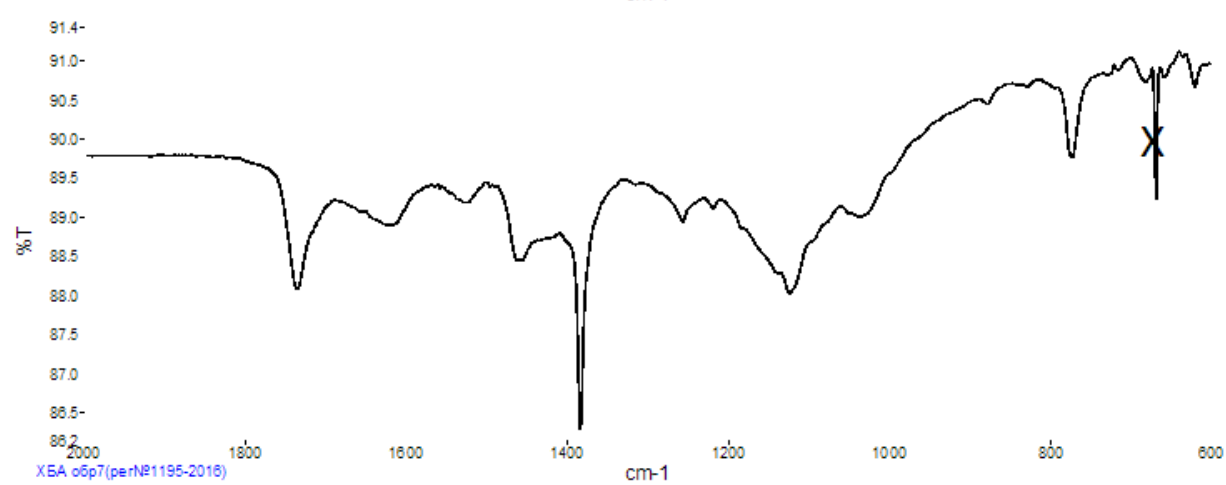
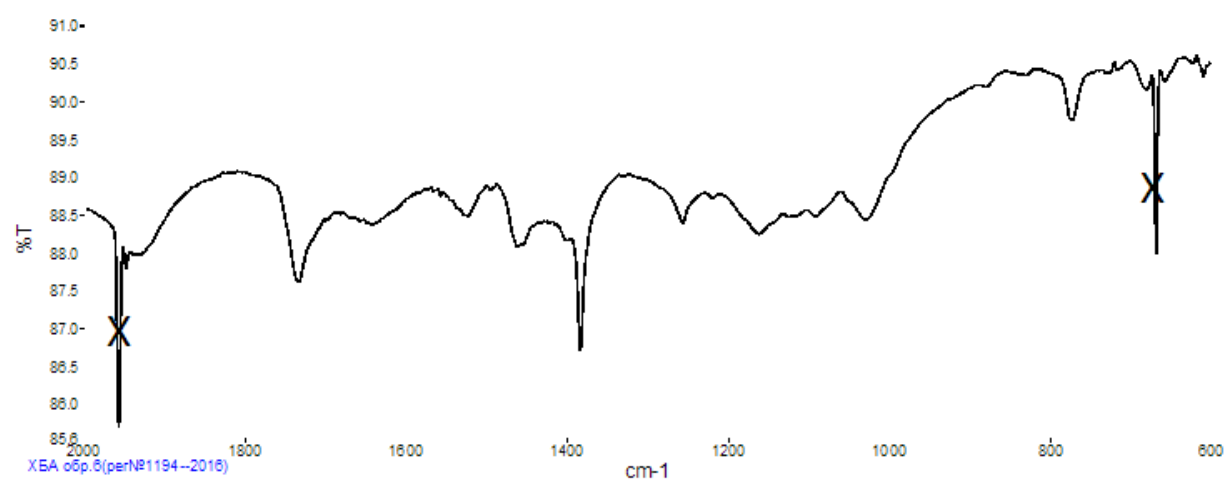
Переписка или копирование протокола без разрешения заведующего научно-исследовательской лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ запрещена.

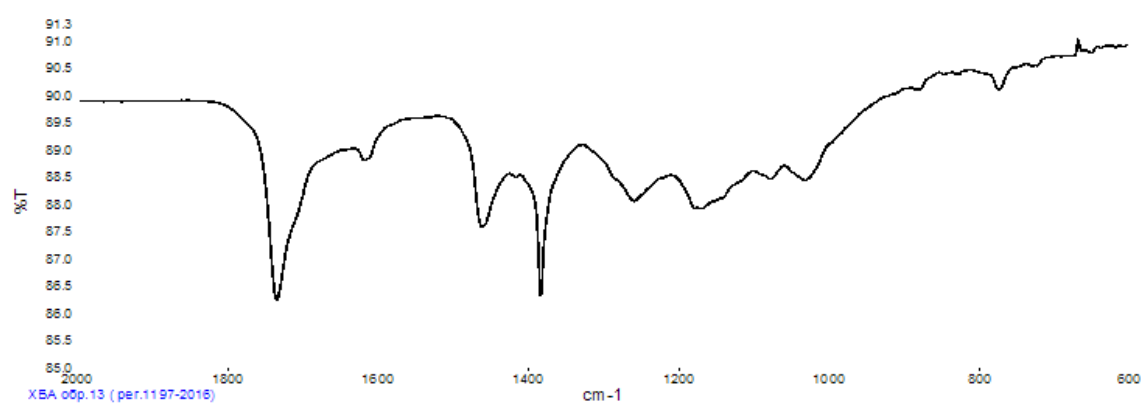
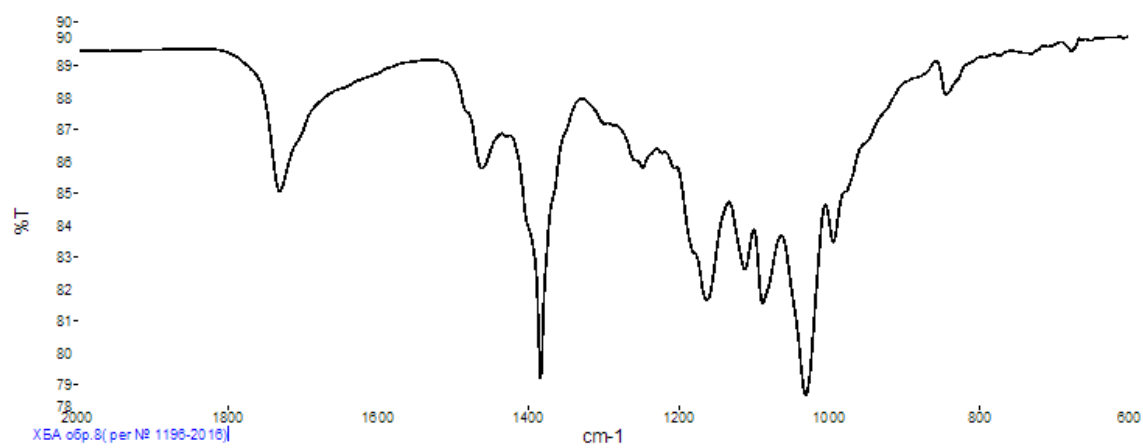
Дата выдачи протокола: 21.11.2017

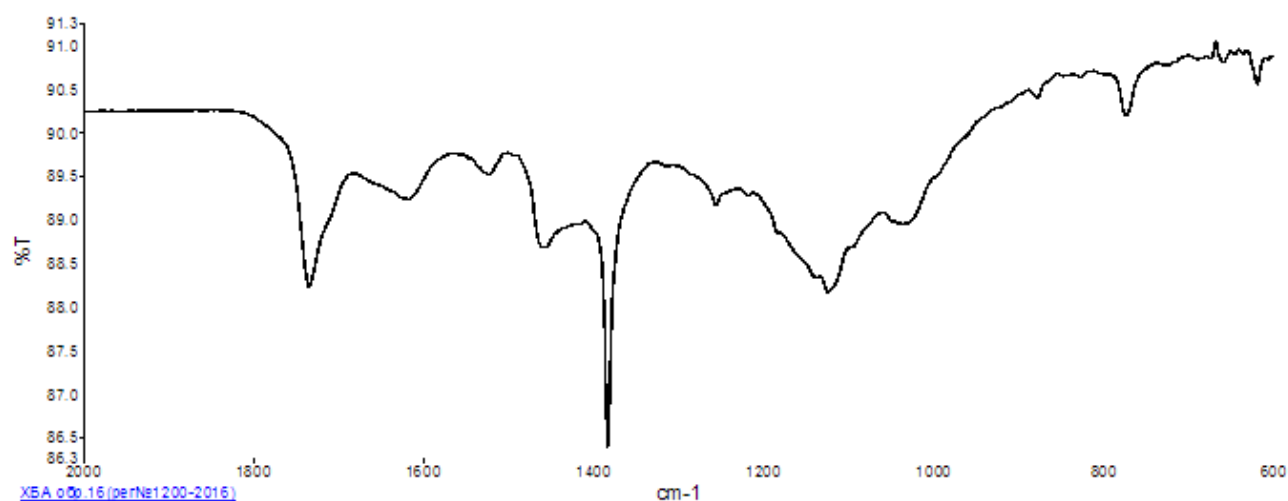
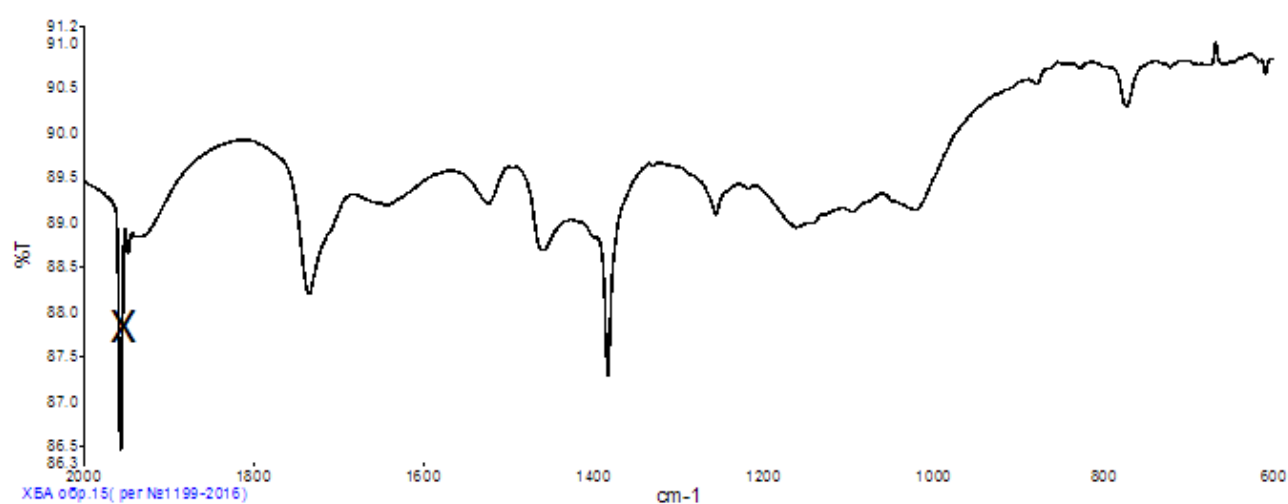
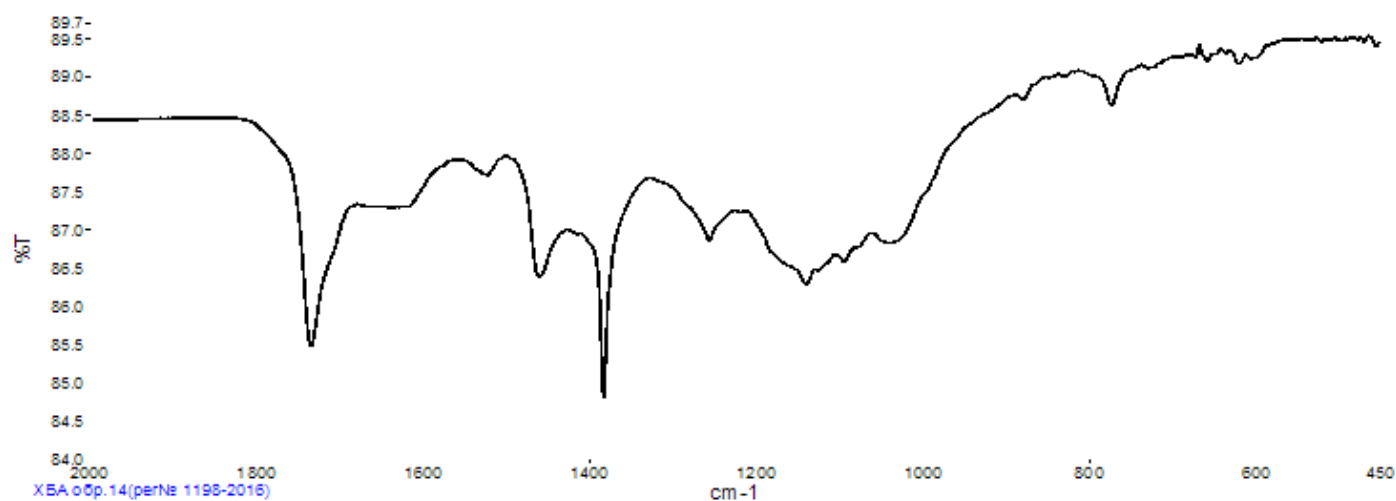
Приложение Д. Результаты исследований органического вещества в подземных и
поверхностных водах

ИК-спектры битумоидов ХБА









Определяемый параметр: Содержание нефтепродуктов

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Определяемый параметр	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,07	<0,02	0,03	0,03	0,04	0,09	<0,02	0,02	<0,02	0,05

Определяемый параметр: Содержание ХБА

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Определяемый параметр	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (рус. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (рус. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
ХБА, мг/дм ³	0,79	0,10	0,53	0,43	0,49	1,28	0,47	0,38	0,35	0,34

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Сумма углеводородов (Σ УВ)

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора				
	Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт	Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт	Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
Σ УВ, %	0,32	0,36	1,71	2,69	1,04
					0,37

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Алифатические УВ

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водоохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водоохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водоохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора				
	Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт	Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт	Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт	Водоохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водоохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
Алифатические УВ, %	0,32	0,36	1,71	2,13	0,75
					0,10

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: н-алканы, изопренаны, изопреноиды в составе алифатических УВ

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водоохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины

Группа определяемых соединений	Точка отбора		
	Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт	Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт	Водоохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
н-алканы, %	0,32		0,32
изопренаны, изопеноиды, %		0,42	

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Алкены в составе алифатических УВ

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора		
	Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
Алкены, %	0,28	0,15	0,17
			Водохранилище, ВБ, ЦБК
			0,10

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Нафтеновые и ароматические УВ

Объект анализа: поверхностные воды

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора		
	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
Нафтеновые УВ, %	0,44	0,29	0,27
Ароматические УВ, %	0,12		

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Сумма гетеросоединений (Σ гетеросоединений)

Объект анализа: подземные и поверхностные воды:

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, плем. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
Σ гетеросоединений, %	93,80	89,36	90,73	92,17	84,95	77,06	88,98	85,74	91,73	95,97

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: О-содержащие соединения

Объект анализа: подземные и поверхностные воды:

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
О-содержащие соединения, %	89,29	85,98	86,85	89,13	83,00	74,20	86,87	84,50	90,27	95,34

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Окиси, спирты и простые эфиры в составе О-содержащих соединений

Объект анализа: подземные и поверхностные воды:

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
Окиси, спирты, простые эфиры, %	65,69	57,81	32,46	26,12	5,48	42,23	5,19	0,42	2,50	12,37

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Альдегиды и кетоны в составе O-содержащих соединений

Объект анализа: подземные и поверхностные воды:

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора					
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт	Пьезометр 439а, шешминский горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
Альдегиды, кетоны, %	1.83	0.77	0.16	3.21	0.05	0.10
						0.11
						0.10

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Кислоты и производные

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
Кислоты производные, %	и 21,77	28,17	53,62	62,85	77,52	28,76	81,63	84,00	87,66	82,87

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Фталаты в составе кислот и производных

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора									
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный	Водохранилище, ВБ, ЦБК
Фталаты, %	3,84	7,09	10,75	13,16	16,80	7,50	18,31	16,09	11,97	13,04

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: NaI-содержащие и S-содержащие соединения

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный

Группа определяемых соединений	Точка отбора		
	Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
NaI-содержащие соединения, %	0,17	0,25	0,11
S-содержащие соединения, %	0,28		

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: N-содержащие соединения

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 407, нижнесоликамский горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный

Группа определяемых соединений	Точка отбора		
	Пьезометр 407, нижнесоликамский горизонт	Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины	Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
N-содержащие соединения, %	0,92	0,17	0,13

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Полиэлементные соединения

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора						
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт
Полиэлементные соединения, %	4,51	3,38	3,88	3,04	1,95	1,94	1,66
						0,82	1,22
							Водохранилище, ВБ, ЦБК
							0,63

Состав гексановой фракции аквабитумоидов по данным хроматомасс-спектрометрии

Группа определяемых соединений: Соединения с R < 40%

Объект анализа: подземные и поверхностные воды

Подземные воды:

- Пьезометр 310а, тело плотины (русовая плотина)
- Пьезометр 363 аллювиальный горизонт (русовая плотина)
- Пьезометр 479 тело плотины
- Пьезометр 405а, аллювиальный горизонт
- Пьезометр 409, верхнесоликамский горизонт
- Пьезометр 407 нижнесоликамский горизонт
- Пьезометр 439а, шешминский (урж.) горизонт

Поверхностные воды:

- Водохранилище, ВБ, в районе пойменной плотины
- Водохранилище, ВБ, устье руч. Грязный
- Водохранилище, ВБ, ЦБК

Группа определяемых соединений	Точка отбора						
	Пьезометр 310а, тело плотины (русл. пл.)	Пьезометр 363 аллюв. горизонт (русл. пл.)	Пьезометр 479 тело плотины	Пьезометр 405а, аллюв. горизонт	Пьезометр 409, верхнесол. горизонт	Пьезометр 407 нижнесол. горизонт	Пьезометр 439а, шешм. горизонт
Соединения с R < 40%, %	6,20	10,64	9,27	7,51	14,69	22,94	9,31
						11,57	7,23
							Водохранилище, ВБ, ЦБК
							3,66

**Приложение Е. Результаты газогеохимических исследований грунта
земляной плотины**

Результаты газогеохимического опробования шпуров, 2016 г.

Пикет	№ точки	Координаты по GPS		Максимальные концентрации, ppm				Максимальные концентрации, мг/м ³	
		х	у	ЛОС	СН ₄	УВГ	СО ₂	СН ₄	СО ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
а) участок № 1									
ПК 9+50	1	461054	6444258	3,47	11095,25	10505,30	14138,96	16636,22	7726,94
	2	461072	6444257	2,64	0,00	0,00	14712,82	0,00	8040,56
	3	461088	6444259	15,13	0,00	0,00	14931,67	0,00	8160,16
ПК 10+00	4	461109	6444260	10,57	796,38	1008,87	8172,92	1194,09	4466,50
	5	461121	6444259	2,83	12771,95	12392,21	11997,82	19150,26	6556,81
	6	461136	6444259	7,70	0,00	141,49	7875,49	0,00	4303,96
	7	461155	6444259	10,63	0,00	0,00	7633,02	0,00	4171,45
ПК 10+50	8	461170	6444259	7,84	0,00	0,00	8450,15	0,00	4618,01
	9	461184	6444261	2,88	0,00	0,00	743,07	0,00	406,09
	10	461196	6444264	9,28	0,00	0,00	8376,93	0,00	4577,99
	11	461212	6444266	1,28	0,00	0,00	4561,61	0,00	2492,92
ПК 11+00	12	461229	6444267	8,94	228,00	66,46	9169,19	341,86	5010,96
	13	461244	6444268	8,21	111,13	12,86	9721,56	166,63	5312,83
	14	461259	6444268	4,43	0,00	0,00	25707,24	0,00	14049,01
ПК 11+50	15	461275	6444267	3,37	0,00	0,00	7329,55	0,00	4005,60
	16	461291	6444267	7,67	0,00	0,00	16098,57	0,00	8797,87
	17	461306	6444274	2,79	0,00	0,00	10921,20	0,00	5968,44
ПК 12+00	18	461324	6444269	0,91	0,00	0,00	3171,50	0,00	1733,23
	19	461336	6444266	3,58	0,00	0,00	8948,51	0,00	4890,36
	20	461349	6444268	4,94	0,00	0,00	4409,33	0,00	2409,70
	21	461358	6444265	0,00	0,00	0,00	5622,80	0,00	3072,86
	22	461371	6444264	2,19	224,99	0,00	4588,01	337,35	2507,34
б) участок № 2									
ПК 14+50	23	461639	6444304	3,36	0,00	0,00	6652,54	0,00	3635,61
	24	461654	6444302	2,13	0,00	0,00	5566,37	0,00	3042,02
	25	461671	6444300	1,23	0,00	0,00	10492,63	0,00	5734,22
ПК 15+00	26	461686	6444301	3,02	0,00	0,00	3773,77	0,00	2062,36
	27	461703	6444302	2,04	315,39	0,00	1943,74	472,90	1062,25
	28	461719	6444301	1,90	0,00	0,00	3051,23	0,00	1667,50
ПК 15+50	29	461735	6444302	1,96	0,00	0,00	2205,73	0,00	1205,43
	30	461754	6444301	1,04	0,00	0,00	4447,66	0,00	2430,64
ПК 16+00	31	461775	6444302	3,68	0,00	0,00	10743,93	0,00	5871,56
	32	461793	6444300	0,00	181,63	0,00	2358,75	272,34	1289,06
	33	461813	6444293	6,25	0,00	0,00	23966,74	0,00	13097,82
ПК 16+50	34	461835	6444291	0,00	0,00	0,00	6834,08	0,00	3734,83
	35	461845	6444290	1,24	199,27	0,00	3257,92	298,79	1780,46
	36	461856	6444289	0,47	0,00	0,00	4137,88	0,00	2261,35
ПК	37	461868	6444289	0,33	258,26	0,00	2426,47	387,24	1326,06

17+00	38	461879	6444287	0,49	0,00	0,00	14545,96	0,00	7949,37
	39	461888	6444288	0,00	0,00	0,00	3047,02	0,00	1665,20
	40	461899	6444285	1,91	0,00	0,00	34339,65	0,00	18766,62
	41	461911	6444284	0,00	3827,85	3658,62	51225,23	5739,47	27994,59
ПК 17+50	42	461922	6444287	1,72	1155,87	956,62	52090,94	1733,11	28467,70
	43	461941	6444289	0,00	425,53	40,97	10580,96	638,04	5782,49
	44	461929	6444289	0,00	3344,45	2996,04	12630,04	5014,66	6902,32
	45	461950	6444287	2,78	380,15	76,19	19924,03	569,99	10888,48
	46	461962	6444290	0,00	1982,78	1782,92	25616,50	2972,98	13999,42
ПК 18+00	47	461973	6444290	0,00	281,02	0,00	19916,50	421,36	10884,37
	48	461983	6444290	0,55	0,00	0,00	14667,71	0,00	8015,90
	49	461995	6444288	0,89	0,00	0,00	12245,83	0,00	6692,35
	50	462003	6444283	1,20	431,88	264,35	21490,91	647,56	11744,78
ПК 18+50	51	462015	6444286	0,00	409,11	51,53	9666,96	613,42	5282,99
	52	462026	6444287	0,00	1703,12	1591,55	24558,21	2553,66	13421,06
	53	462037	6444286	1,18	680,89	507,35	25447,06	1020,92	13906,82
ПК 19+00	54	462057	6444286	2,72	705,99	753,69	12874,77	1058,56	7036,06
	55	462075	6444286	0,44	2132,09	2285,87	26614,96	3196,85	14545,08
	56	462094	6444285	1,92	289,76	0,00	19046,46	434,46	10408,89
ПК 19+50	57	462109	6444284	0,50	0,00	0,00	13669,64	0,00	7470,46
	58	462124	6444283	0,22	0,00	0,00	3889,98	0,00	2125,87
	59	462142	6444284	0,00	252,84	0,00	2399,42	379,11	1311,28
ПК 20+00	60	462180	6444282	0,00	4126,95	3682,09	21449,91	6187,95	11722,38
	61	462162	6444285	0,24	408,17	27,53	14660,69	612,00	8012,07
	62	462194	6444286	0,00	0,00	0,00	4992,31	0,00	2728,30
ПК 20+50	63	462215	6444289	0,69	3379,43	3010,46	18555,96	5067,12	10140,83
	64	462233	6444289	0,00	358,81	0,00	2025,66	538,00	1107,02
ПК 21+00	65	462252	6444287	0,17	0,00	0,00	1786,15	0,00	976,13
	66	462271	6444289	0,00	284,20	10,91	1178,30	426,13	643,94
ПК 21+50	67	462289	6444290	0,00	974,60	895,85	2258,80	1461,32	1234,43
	68	462309	6444293	4,66	0,00	0,00	4351,52	0,00	2378,10
	69	462327	6444292	1,48	0,00	0,00	2762,80	0,00	1509,87
ПК 22+00	70	462347	6444294	0,22	427,38	0,00	3406,64	640,82	1861,73
	71	462366	6444295	0,00	0,00	0,00	1541,06	0,00	842,19
	72	462384	6444295	0,00	0,00	0,00	1412,07	0,00	771,70
ПК 22+50	73	462402	6444290	0,82	0,00	0,00	11581,60	0,00	6329,34
	74	462423	6444293	0,00	302,75	60,38	3295,99	453,94	1801,26
ПК 23+00	75	462443	6444291	0,00	0,00	0,00	1201,06	0,00	656,38
	76	462460	6444291	0,00	0,00	0,00	859,71	0,00	469,83
ПК 23+50	77	462480	6444293	0,00	0,00	0,00	5451,73	0,00	2979,37
	78	462498	6444295	0,39	291,20	73,36	10190,08	436,63	5568,88
	79	462519	6444294	0,00	5657,16	5170,99	3397,70	8482,35	1856,84
ПК 24+00	80	462538	6444293	0,00	0,00	0,00	4851,37	0,00	2651,28
	81	462557	6444295	0,00	0,00	0,00	8057,13	0,00	4403,22
	82	462577	6444297	0,00	0,00	0,00	4856,82	0,00	2654,25

**Результаты газогеохимического опробования колодцев вертикального дренажа (КВД),
2016 г.**

Пикет	№ колодца	Координаты по GPS		Максимальные концентрации, ppm				Максимальные концентрации, мг/м ³	
		х	у	ЛОС	CH ₄	УВГ	CO ₂	CH ₄	CO ₂
а) участок № 1									
ПК 8+75	Bd01	461134	6444253	0,00	0,00	0,00	341,40	0,00	186,58
ПК 9+10	Bd02	461159	6444259	0,00	0,00	0,00	380,74	0,00	208,07
ПК 9+55	Bd03	461190	6444262	0,00	0,00	0,00	343,08	0,00	187,49
ПК 9+60	Bd04	461199	6444260	0,00	0,00	0,00	441,27	0,00	241,15
ПК 10+00	Bd05	461222	6444261	0,00	0,00	0,00	847,36	0,00	463,08
ПК 10+20	Bd06	461241	6444262	0,00	0,00	0,00	346,29	0,00	189,25
ПК 10+60	Bd07	461263	6444262	0,00	0,00	0,00	365,84	0,00	199,93
ПК 10+80	Bd08	461281	6444263	0,00	0,00	8,13	344,74	0,00	188,40
ПК 11+10	Bd09	461301	6444262	0,00	0,00	0,00	350,44	0,00	191,52
ПК 11+50	Bd10	461324	6444258	0,00	0,00	0,00	387,80	0,00	211,93
б) участок № 2									
ПК 16+25	Bd14	461823	6444265	0,00	0,00	0,00	336,27	0,00	183,77
ПК 16+55	Bd15	461857	6444252	0,00	0,00	0,00	437,17	0,00	238,92
ПК 17+05	Bd16	461901	6444266	0,00	0,00	0,00	1095,32	0,00	598,59
ПК 17+60	Bd17	461955	6444267	0,00	0,00	0,00	331,41	0,00	181,12
ПК 18+10	Bd18	462004	6444261	0,00	0,00	0,00	378,81	0,00	207,02
ПК 18+75	Bd19	462055	6444263	0,00	0,00	13,74	335,60	0,00	183,41
ПК 19+25	Bd20	462103	6444268	0,00	0,00	0,00	779,30	0,00	425,89
ПК 19+75	Bd21	462153	6444268	0,00	0,00	28,61	380,03	0,00	207,69
ПК 20+30	Bd22	462204	6444267	0,00	0,00	83,50	433,55	0,00	236,94
ПК 20+80	Bd23	462252	6444273	0,00	0,00	0,00	333,99	0,00	182,53
ПК 21+40	Bd24	462303	6444267	0,00	0,00	3,55	353,93	0,00	193,42
ПК 21+90	Bd25	462354	6444277	0,00	0,00	0,00	389,60	0,00	212,91
ПК 22+40	Bd26	462404	6444278	1,09	0,00	68,33	497,90	0,00	272,10

Результаты газогеохимического опробования шпуров, 2017 г.

Пикет	№ шпура	Координаты по GPS		Максимальные концентрации, ppm				Максимальные концентрации, мг/м ³	
		x	y	ЛОС	CH ₄	УВГ	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
а) участок № 1									
ПК 9+50	1	461056	6444257	0,16	1830,91	2235,14	7485,37	1310,39	14697,52
	2	461077	6444260	0,00	0,00	77,28	4468,50	0,00	8773,90
	3	461097	6444261	0,00	10,35	71,43	8071,63	7,40	15848,65
ПК 10+00	4	461118	6444262	0,00	581,90	696,48	10820,69	416,47	21246,42
	5	461139	6444263	0,00	0,00	75,54	10511,80	0,00	20639,92
	6	461158	6444259	0,00	0,00	0,00	10944,75	0,00	21490,02
	7	461175	6444270	0,00	0,00	101,23	7826,77	0,00	15367,85
ПК 10+50	8	461194	6444267	0,00	107,90	38,70	395,29	77,22	776,15
	9	461205	6444267	0,00	0,00	40,58	211,58	0,00	414,70
	10	461215	6444268	0,22	0,00	42,51	32,69	0,00	64,19
	11	461235	6444267	0,28	0,00	0,00	1854,20	0,00	3640,73
ПК 11+00	12	461256	6444267	0,16	0,00	73,86	1958,06	0,00	3844,66
	13	461276	6444268	0,00	0,00	95,22	1621,14	0,00	3183,11
	14	461296	6444268	0,00	0,00	16,30	15826,71	0,00	31075,75
ПК 11+50	15	461316	6444267	0,10	132,24	2550,14	15746,30	94,64	30917,86
	16	461324	6444267	0,00	0,00	287,66	5782,66	0,00	11334,01
	17	461336	6444268	0,00	0,00	138,48	1675,52	0,00	3289,88
ПК 12+00	18	461354	6444268	0,00	0,00	109,54	1656,55	0,00	3252,63
	19	461374	6444269	0,00	0,00	90,31	863,28	0,00	1695,04
б) участок № 2									
ПК 14+50	21	461561	6444295	0,14	0,00	0,00	2473,89	0,00	4857,48
	22	461581	6444297	0,00	0,00	473,20	7119,98	0,00	13980,08
	23	461602	6444296	0,00	0,00	0,00	1344,47	0,00	2639,87
ПК 15+00	24	461622	6444297	0,54	0,00	151,52	1175,86	0,00	2308,80
	25	461642	6444294	0,06	0,00	0,00	1051,51	0,00	2064,65
	26	461663	6444294	0,00	0,00	0,00	2254,48	0,00	4426,67
ПК 15+50	27	46175	6444293	0,00	0,00	0,00	1158,44	0,00	2269,68
	28	461684	6444293	0,00	0,00	23418,76	906,39	0,00	1779,69
ПК 16+00	29	461705	6444294	0,00	0,00	0,00	1037,73	0,00	2037,59
	30	461725	6444294	0,00	0,00	0,00	1011,83	0,00	1986,73
	31	461746	6444296	0,00	0,00	0,00	9774,65	0,00	19192,52
ПК 16+50	32	461765	6444293	0,00	493,65	779,03	5461,13	353,31	10722,93
	33	461785	6444294	0,00	0,00	92,33	2909,16	0,00	5712,14
	34	461797	6444293	0,00	0,00	54,11	4814,27	0,00	9435,96
ПК 17+00	35	461806	6444292	0,00	0,00	0,00	16230,27	0,00	31868,14
	36	461825	6444285	0,00	427,14	516,55	15074,55	305,71	29598,88
	37	461864	6444275	0,00	0,00	0,00	7562,02	0,00	14848,02
	38	461884	6444274	0,00	0,00	30,63	8377,30	0,00	16448,82
	39	461906	6444274	0,00	0,00	0,00	2700,09	0,00	5301,63
ПК 17+50	40	461926	6444274	0,00	0,00	0,00	3231,71	0,00	6345,46
	41	461946	6444272	0,00	0,00	0,00	2138,75	0,00	4199,43
	42	461966	6444272	0,00	0,00	0,00	3185,96	0,00	6255,64
	43	461986	6444272	0,00	0,00	0,00	3929,12	0,00	7714,83
	44	462006	6444272	0,00	0,00	113,49	4588,40	0,00	9009,32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПК 18+00	45	462017	6444270	0,00	0,00	78,63	6345,47	0,00	12437,12
	46	462024	6444269	0,00	0,00	54,21	8059,73	0,00	15825,27
	47	462045	6444269	0,00	0,00	610,83	3964,65	0,00	7784,58
	48	462064	6444268	0,00	0,00	0,00	3714,64	0,00	7293,70
ПК 18+50	49	462084	6444270	0,00	0,00	50,78	2606,88	0,00	5118,60
	50	462104	6444269	0,00	0,00	459,47	3127,76	0,00	6141,35
	51	462125	6444270	0,00	0,00	0,00	2558,79	0,00	5024,18
ПК 19+00	52	462133	6444269	0,00	0,00	0,00	2756,33	0,00	5402,40
	53	462144	6444271	0,00	0,00	936,65	3488,73	0,00	6850,12
	54	462165	6444271	0,00	0,00	225,38	2596,72	0,00	5098,66
ПК 19+50	55	462185	6444271	0,00	0,00	243,88	1793,78	0,00	3522,09
	56	462206	6444272	0,00	0,00	0,00	1528,93	0,00	3002,05
	57	462225	6444274	0,00	20,92	83,56	1866,44	14,97	3664,76
ПК 20+00	58	462232	6444274	0,00	0,00	163,81	1569,22	0,00	3075,67
	59	462244	6444274	0,00	0,00	219,44	1468,39	0,00	2883,19
	60	462264	6444273	0,00	0,00	0,00	1375,66	0,00	2701,11
ПК 20+50	61	462284	6444277	0,00	0,00	0,00	1271,99	0,00	2497,56
	62	462304	6444278	0,00	0,00	36,48	2471,90	0,00	4853,57
ПК 21+00	63	462312	6444274	0,00	0,00	15,24	1994,27	0,00	3908,76
	64	462324	6444275	0,00	0,00	0,00	1834,20	0,00	3601,46
ПК 21+50	65	462344	6444277	0,00	0,00	0,00	1888,82	0,00	3708,70
	66	462364	6444280	0,00	0,00	269,99	1647,35	0,00	3234,57
	67	462384	6444281	0,00	0,00	94,44	2766,44	0,00	5431,90
ПК 22+00	68	462404	6444281	0,00	0,00	1,57	2175,30	0,00	4271,21
	69	462424	6444280	0,00	0,00	364,31	1307,52	0,00	2567,32
	70	462433	6444280	0,00	0,00	58,78	1754,43	0,00	3421,04
ПК 22+50	71	462444	6444280	0,00	0,00	21,36	2098,01	0,00	4119,45
	72	462465	6444278	0,00	0,00	0,00	5250,06	0,00	10308,50
ПК 23+00	73	462485	6444282	0,00	0,00	4,82	4042,64	0,00	7937,72
	74	462506	6444280	0,00	0,00	0,00	1831,24	0,00	3595,64
ПК 23+50	75	462517	6444280	0,00	0,00	0,00	1774,19	0,00	3477,41
	76	462525	6444281	0,00	0,00	19,40	2638,62	0,00	5180,93
	77	462545	6444281	0,00	0,00	0,00	5882,72	0,00	11550,71
ПК 24+00	78	462565	6444282	0,00	0,00	0,00	10418,27	0,00	20456,27
	79	462585	6444283	0,00	0,00	0,00	9743,70	0,00	19131,76
	80	462605	6444278	0,00	0,00	0,00	8264,82	0,00	16227,98

**Результаты газогеохимического опробования колодцев вертикального дренажа (КВД),
2017 г.**

Пикет	№ колодца	Координаты по GPS		Максимальные концентрации, ppm				Максимальные концентрации, мг/м³	
		x	y	ЛОС	CH ₄	УВГ	CO ₂	CH ₄	CO ₂
а) участок № 1									
ПК 8+75	Bd01	461134	6444253	0,00	90,72	70,18	293,52	64,93	576,32
ПК 9+10	Bd02	461159	6444259	0,00	0,00	105,10	0,00	0,00	0,00
ПК 9+55	Bd03	461190	6444262	0,00	0,00	68,18	0,00	0,00	0,00
ПК 9+60	Bd04	461199	6444260	0,00	0,00	82,34	0,00	0,00	0,00
ПК 10+00	Bd05	461222	6444261	0,00	0,00	55,72	0,00	0,00	0,00
ПК 10+20	Bd06	461241	6444262	0,00	0,00	170,52	0,00	0,00	0,00
ПК 10+60	Bd07	461263	6444262	0,00	103,87	247,75	0,00	74,34	0,00
ПК 10+80	Bd08	461281	6444263	0,00	0,00	83,50	0,00	0,00	0,00
ПК 11+10	Bd09	461301	6444262	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00
ПК 11+50	Bd10	461324	6444258	0,00	0,00	349,99	0,00	0,00	0,00
б) участок № 2									
ПК 16+25	Bd14	461823	6444265	0,00	0,00	37,67	1320,35	0,00	2592,51
ПК 16+55	Bd15	461857	6444252	0,00	0,00	102,10	0,00	0,00	0,00
ПК 17+05	Bd16	461901	6444266	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ПК 17+60	Bd17	461955	6444267	0,00	0,00	278,57	0,00	0,00	0,00
ПК 18+10	Bd18	462004	6444261	0,00	191,34	211,62	0,00	136,94	0,00
ПК 18+75	Bd19	462055	6444263	0,00	215,55	444,95	0,00	154,27	0,00
ПК 19+25	Bd20	462103	6444268	0,00	0,00	10,14	0,00	0,00	0,00
ПК 19+75	Bd21	462153	6444268	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ПК 20+30	Bd22	462204	6444267	0,00	93,29	154,75	0,00	66,76	0,00
ПК 20+80	Bd23	462252	6444273	0,00	0,00	195,12	0,00	0,00	0,00
ПК 21+40	Bd24	462303	6444267	0,00	0,00	147,98	0,00	0,00	0,00
ПК 21+90	Bd25	462354	6444277	0,00	0,00	147,53	0,00	0,00	0,00
ПК 22+40	Bd26	462404	6444278	0,00	103,61	79,93	0,00	74,15	0,00