

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»

На правах рукописи

ЯН ХЭН

**ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ И
БОЛОТНЫХ ВОД В ГУМИДНЫХ УСЛОВИЯХ УМЕРЕННОГО И
СУБТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТОВ
(на примере объектов Западной Сибири России
и Восточного Китая)**

1.6.6 – Гидрогеология

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

Доктор географических наук, профессор

Савичев Олег Геннадьевич

Томск – 2023

Содержание

| | |
|---|-----|
| Введение..... | 4 |
| 1. Изученность проблемы взаимосвязи подземных и болотных вод в Китайской народной республике и Российской Федерации | 12 |
| 1.1. Терминология и общая постановка проблемы изучения водных объектов в зоне гипергенеза | 12 |
| 1.2. Изученность подземных вод и водно-болотных угодий в бассейне озера Поян | 16 |
| 1.3. Изученность Обского болота и подземных вод прилегающих территорий..... | 17 |
| 2. Объекты и методика исследования | 20 |
| 3. Условия формирования подземных вод и вод ветландов в районе Обского болота и в водосборе озера Поян | 41 |
| 3.1. Обское болото и прилегающие территории (РФ) | 41 |
| 3.1.1. Административное и географическое положение | 41 |
| 3.1.2. Климатические условия..... | 42 |
| 3.1.3. Геоморфологические и геологические условия | 42 |
| 3.1.4. Гидрологические условия..... | 43 |
| 3.1.5. Гидрогеологические условия | 46 |
| 3.1.6. Хозяйственная деятельность | 47 |
| 3.2. Водосбор озера Поян (КНР)..... | 50 |
| 3.2.1. Административное и географическое положение | 50 |
| 3.2.2. Климатические условия..... | 50 |
| 3.2.3. Геоморфологические и геологические условия | 56 |
| 3.2.4. Гидрологические условия..... | 60 |
| 3.2.5. Гидрогеологические условия | 62 |
| 3.2.6. Хозяйственная деятельность | 67 |
| 4. Анализ гидрогеодинамических условий взаимодействия подземных и болотных вод | 69 |
| 4.1. Водный баланс Обского болота..... | 69 |
| 4.2. Оценка взаимосвязей уровней болотных и подземных вод..... | 83 |
| 4.3. Обобщение результатов анализа водного баланса ветландов | 86 |
| 5. Анализ гидрогеохимических условий взаимодействия подземных и болотных вод..... | 88 |
| 5.1. Болота юго-востока Западной Сибири..... | 88 |
| 5.2. Ветланды в бассейне озера Поян | 98 |
| 5.3. Обобщение результатов анализа взаимосвязей между химическим составом подземных вод и вод ветландов..... | 105 |

| | |
|---|-----|
| 6. Оценка влияния загрязнения ветландов на состояние подземных вод..... | 107 |
| 6.1. Взаимодействие вод и отложений ветландов в водосборе озера Поян | 107 |
| 6.2. Эксперимент по оценке самоочищения евтрофного (низинного) Обского болота | 111 |
| Выводы..... | 131 |
| Список литературы | 132 |

Введение

Актуальность темы исследования. Формирование ресурсов и химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны в ряде регионов мира с гумидным климатом и равнинным рельефом в значительной мере связано с процессами возникновения, эволюции и деградации болот, причем это влияние является взаимным [Иванов, 1975; Шварцев, 1998; Подземные воды мира..., 2007]. Наиболее характерный пример такого влияния – современные и палеогидрогеологические условия Западно-Сибирской равнины (Российская Федерация), значительная часть которой покрыта болотами. Болотные воды содержат большое количество органических веществ и продуктов их трансформации, что существенно осложняет обеспечение населения качественной питьевой водой. Эта территория также отличается значительным накоплением осадочных железных руд и ряда других полезных ископаемых, происхождение которых является предметом дискуссии многих ученых, но в основном при признании важной роли подземных вод и понимании их взаимосвязи с процессами функционирования болотных экосистем [Шварцев, 1998; Геологическая эволюция..., т.2, 2007]. Большое значение имеет проработка и других вопросов хозяйственного освоения территории в сложных гидрогеологических условиях.

С учетом этого в Томском политехническом университете (ТПУ) под руководством профессоров П.А. Удодова и С.Л. Шварцева с 1960-х гг. проводятся исследования в указанном направлении [Рассказов и др., 1971; Научные предпосылки..., 1977; Геологическая эволюция..., т.2, 2007; Schvartsev et al., 2014 и др.]. Однако многие вопросы взаимодействия подземных и болотных вод до сих пор решены не в полной мере. Так, все это время не прекращается обсуждение возможности водной миграции соединений железа и других химических элементов в мезо-кайнозойских отложениях в пределах верхней части (до 150–200 м) геологического разреза (включая массообмен между торфяной залежью и водоносными горизонтами), роли подземных вод в формировании болот разных типов, методологии и технологий разработки железорудных месторождений и так далее [Рассказов и др., 1971; Ермашова, 1998; Здвижков, 2005; Шайхиев, Рихванов, 2015; Mezhibor, Arbuzov, Arkhipov, 2013; Веретенникова и др., 2021 и др.].

Аналогичные проблемы существуют и в других регионах мира, в том числе – в водосборе одного из крупнейших в Китае пресноводных озер – озера Поян – элемента водной системы реки Янцзы (основная часть водосбора озера расположена в пределах провинции Цзянси), причем особенностью этой территории являются значительные колебания уровней воды. В результате этого в условиях равнинного рельефа значительные площади то покрываются водой, то

осушаются. Как следствие, здесь распространены болота и заболоченные земли, которые вместе с лагунами, поймами и зарастающими озерами многие авторы объединяют в рамках понятия о водно-болотных угодьях или ветландах – переувлажненных территориях, подверженных подтоплению и затоплению. При колебаниях уровней озерных вод в годы и сезоны года с разной водностью возникают условия, с одной стороны, их поступления в ветланды, а затем в подземные водоносные горизонты, а с другой стороны – разгрузки подземных вод в ветланды и озеро Поян, что должно сказываться на качестве подземных вод, прежде всего – грунтовых.

Всё это и определяет актуальность исследований взаимодействий подземных и болотных вод в условиях гумидного климата и равнинного рельефа, в том числе на юго-востоке Западной Сибири в Российской Федерации (юг Томской области, РФ) и в Китайской народной республике (провинция Цзянси, КНР). При этом мы полагаем, что, во-первых, рассмотрение этой проблемы в разных природных условиях (в первом случае – зона тайги, южно-таежная подзона умеренного пояса и во втором – зона переменного-влажных лесов субтропического пояса) и на территориях с разной степенью антропогенной нагрузки (в первом случае – территории с минимальной антропогенным воздействием преимущественно за счёт потенциально возможного атмосферного загрязнения или участки локального влияния выпусков сточных вод, во втором – от территорий с косвенным антропогенным воздействием (атмосферное загрязнение и природно-антропогенные изменения водного режима озера Поян) до ведения сельского хозяйства (выращивание риса), добычи нерудных строительных материалов, диффузного поверхностного загрязнения на селитебных территориях и так далее) позволяет избежать переоценки локальных факторов и, следовательно, более достоверно выявить закономерности и особенности таких взаимодействий.

Во-вторых, целесообразно сопоставить подземные и болотные воды в России и Китае с учетом разной степени сходства факторов и обстановок. Предварительный анализ и последующие исследования показали, что гидрогеологические условия на заболоченных территориях водосбора озера Поян – элемента гидрографической сети реки Янцзы – наиболее сопоставимы с низинными болотами в Западной Сибири. С учетом этого в последнем случае было выбрано Обское болото низинного типа, расположенное в долине другой крупнейшей реки – Оби, но также использовались данные по более изученному (в части режима болотных вод) низинному Бакинскому болоту, верховым и переходным участкам Васюганского болотного комплекса и переходного Тимирязевского болота в долине реки Томь (приток Оби). В-третьих, по возможности нужно рассматривать и гидрогеохимические, и гидрогеодинамические аспекты взаимодействий подземных и болотных вод, особенно с учетом того, что обычно

рассматриваются либо первые (что, как правило, не позволяет получить общую картину баланса воды, взвешенных и растворенных в ней веществ), либо вторые (обычно при значительных допущениях, фатически предопределяющих результат исследования).

С учетом этого автором проведено исследование, **цель** которого – выявление закономерностей и особенностей формирования химического состава подземных и болотных вод на примере болот и заболоченных земель на юго-востоке Западной Сибири в Российской Федерации (юг Томской области) и в водосборе озера Поян в Китайской народной республике (провинция Цзянси).

Для достижения этой цели были рассмотрены следующие **задачи** исследования: 1) количественная оценка элементов водного баланса и гидрогеодинамических условий взаимодействий подземных и болотных вод низинного Обского болота; 2) выявление взаимосвязей между химическим составом подземных вод верхней гидродинамической зоны и болотных вод на юго-востоке Западной Сибири (Томская область, РФ) и в водосборе озера Поян (провинция Цзянси, КНР); 3) оценка влияния загрязнения болот на состояние связанных с ними подземных вод на примере низинного Обского болота (Томская область, РФ) и водно-болотных угодий в водосборе озера Поян (провинция Цзянси, КНР).

Объект и методы исследования. Объектом исследования являются подземные воды, болота на юго-востоке Западной Сибири (Обское болото, а также Баксинское, Тимирязевское, Васюганское, РФ) и водно-болотные угодья (ветланды) в водосборе озера Поян (провинция Цзянси, КНР).

В процессе исследования использовались следующие методы: ландшафтно-геохимический, географо-гидрологический, статистический, методы математического моделирования, методы химического анализа вод, торфов и донных отложений (масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой, атомно-абсорбционный и другие).

В соответствии с поставленными задачами исследование включало в себя следующие этапы: 1) составление уравнения водного баланса водосбора Обского болота и анализ взаимосвязей между элементами водного баланса (оценка инфильтрации, расчёт по уравнению Дюпюи коэффициента фильтрации и сопоставление его со средневзвешенными измеренными значениями для определения глубины взаимодействия поверхностных и подземных вод); 2) анализ взаимосвязей между уровнями подземных и болотных вод (оценка зоны влияния болотных вод на подземные воды); 3) анализ взаимосвязей между химическим составом подземных и болотных вод (оценка возможности миграционных потоков в системе «болото – подземный водоносный горизонт» в различных природных условиях); 4) анализ влияния

загрязнения болот на состояние связанных с ними подземных вод (оценка антропогенного влияния на состояние подземных вод в случаях, когда взаимосвязи фактически или потенциально выявлены).

Исходные материалы. Использованы материалы исследований, выполненных в ТПУ в 2002–2023 гг. под руководством и/или при участии С.Л. Шварцева, Е.А. Солдатовой, Н.В. Гусевой, О.Г. Савичева и других, в том числе результаты полевых исследований, проведённых при непосредственном участии автора в 2021 г. (Обское болото) и 2022 г. (водосбор озера Поян), опубликованные материалы ряда научных организаций в КНР и РФ, включая: 1) гидрогеохимическую информацию: 1.1) подземные воды юго-востока Западной Сибири – 341 проб, включая воды отложений: 1.1.1) четвертичных (грунтовые) – 164; 1.1.2) палеогеновых (артезианские) – 81; 1.1.3) меловых (артезианские) – 86; 1.1.4) палеозоя – 10; 1.2) подземные воды в водосборе озера Поян (грунтовые) – 29; 1.3) болотные воды на юго-востоке Западной Сибири – 134, включая воды болот типов: 1.3.1) низинного – 40; 1.3.2) переходного – 32; 1.3.3) верхового – 62; 1.4) воды водно-болотных угодий (ветландов) в водосборе озера Поян – 12, включая: 1.4.1) воды неиспользуемых в хозяйственном отношении ветландов – 7; 1.4.2) рисовых полей в пределах ветландов – 5; 1.5) сточные воды – 7, включая: 1.5.1) 3 пробы хозяйственно-бытовых стоков, поступающих в Обское болото в районе с. Мельниково (Томская область); 1.5.2) хозяйственно-бытовых (2) и производственных (2) сточных вод, поступающих в р. Цзиньцзян (элемент системы р. Цзиньцзян – р. Ганьцзян – озеро Поян – р. Янцзы); 1.6) водные вытяжки из торфов Обского болота и отложений ветландов в водосборе озера Поян, включая: 1.6.1) пробы торфов и минерального грунта через 0,25 м в пяти скважинах на Обском болоте в марте и октябре 2021 г. – 109; 1.6.2) в ветландах в водосборе озера Поян – 4; 2) опубликованную гидрогеологическую, гидрологическую и метеорологическую информацию, полученную на постах сети государственного мониторинга, в том числе материалы наблюдений за уровнями воды р. Обь у п. Победа (с 1965 г.) и в ряде других створов, уровнями и расходами воды р. Шегарка у с. Бабарыкино (с 1933 г.), уровнями подземных вод на гидрогеологической режимной скважине 63р в с. Мельниково Томской области; уровнях болотных вод Баксинского болота в 1961–1969 гг. и рядом других показателей; аналогичная (опубликованная) гидрометеорологическая и гидрогеологическая информация по водосбору озера Поян; 3) опубликованные сведения о глубинах торфяной залежи и свойствах торфов Обского болота.

Научная новизна. Впервые количественно охарактеризованы размеры зоны влияния болот на подземные воды в южной части Томской области (РФ). Впервые выявлены особенности взаимосвязей подземных и болотных вод, заключающиеся в сопряженности поверхности

долинного болота и кривой депрессии подземных вод по направлению от границы болота к реке. Впервые количественно показано, что существуют статистически значимые связи между химическим составом грунтовых вод и вод низинных болот; между химическим составом подземных вод и вод верховых болот значимые связи не выявлены, соответственно нет оснований говорить о взаимовлиянии аномалий содержания железа в верховых болотах и подземных водоносных горизонтах. Количественно оценены масштабы влияния возможного антропогенного загрязнения болот на связанные с ними подземные воды.

Научные положения, выносимые на защиту

1. На юго-востоке Западной Сибири (РФ) взаимодействие поверхностных и подземных вод в разрезе в основном ограничено глубинами 110–120 м, а в плане приурочено к участкам переменного напора подземных вод на границе болот; влияние болотных вод на режим подземных вод наиболее вероятно в летне-осеннюю межень, когда возможен переток болотных вод в сторону от долинного болота к водоразделу на участках 800–900 м, а также увеличивается инфильтрация.

2. Наибольшее влияние подземных вод на химический состав болотных вод на юго-востоке Западной Сибири характерно для краевых частей низинных долинных болот, где происходит разгрузка напорных подземных вод с более высокими, по сравнению с болотными водами, значениями минерализации и рН, наименьшее (вплоть до отсутствия) – для водораздельных верховых болот; напротив, болота оказывают существенное воздействие на состояние, преимущественно, грунтовых вод, что проявляется в снижении их минерализации и рН; в водосборе озера Поян значимое влияние водно-болотных угодий связано, в основном, с поступлением в грунтовые воды соединений фосфора и снижением рН.

3. Болота юго-востока Западной Сибири (РФ) и водно-болотные угодья в водосборе озера Поян (КНР) характеризуются значительной способностью к самоочищению, вследствие чего загрязнение в первом случае обычно приурочено к верхней части торфяной залежи до глубин 1,5–2,0 м, а во втором – снижается с уменьшением диаметра частиц грунта; в случае кратковременного загрязнения болот и водно-болотных угодий антропогенное влияние на подземные воды маловероятно, а в случае длительного загрязнения – наиболее ощутимо для грунтовых вод суходолов на границе низинных болот.

Достоверность результатов работы. Достоверность результатов исследования определяется: 1) применением современных высокоточных методов химического анализа и выполнением определений в аккредитованной лаборатории ТПУ; 2) использованием статистического и экспертного анализа данных наблюдений с учётом нормативных требований,

принятых в КНР и РФ; 3) апробацией результатов исследования в процессе публикаций в рецензируемых научных журналах («Известия Томского политехнического университета», «Разведка и охрана недр» и докладов на научных конференциях.

Практическая значимость работы. Результаты исследования являются научной основой для: 1) эксплуатации подземных водозаборов на заболоченных и прилегающих к ним территориях; 2) оптимизации сети государственного мониторинга водных объектов и геологической среды в водосборе озера Поян; 3) проведения учебных занятий по гидрогеологии, геоэкологии, гидрохимии и геохимии в университетах КНР и РФ. Результаты исследования использованы при проведении научных исследований в ТПУ, выполненных при поддержке грантов РФФИ БРИКС_Т № 18-55-80015 (полевые и лабораторные работы в водосборе озера Поян в 2019 г. и на Обском болоте в 2021 г.) и РФФИ № 23-27-00039 (лабораторные работы в 2022 г.).

Апробация работы. Основные положения диссертации:

1) опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК:

Савичев О.Г., Ян Хэнь Гидрогеологические и гидрологические условия функционирования Обского и Баксинского болот (юго-восток Западно-Сибирской равнины) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 4. С. 43-56. DOI 10.18799/24131830/2021/4/3147.

Савичев О.Г., Гусева Н.В., Хвашевская А.А., Иванов А.Ю., Ян Хэн, Чжоу Дань Эксперимент по оценке самоочищения Обского болота (Западная Сибирь, Томская область) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 1. – С. 73-84. DOI: 10.18799/24131830/2022/1/3514.

Савичев О.Г., Ян Х., Чжоу Д. Гидрогеодинамические и гидрогеохимические условия самоочищения вод Обского болота (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 4. С. 115-125. DOI 10.18799/24131830/2022/4/3656

Савичев О.Г., Домаренко В.А., Ян Хэн, Перегудина Е.В. Сравнительный анализ подземных и болотных вод в юго-восточной части Западной Сибири // Разведка и охрана недр. – 2022. – № 5, С. 26–33.

2) в иных журналах и сборниках:

Yang, H., Savichev, O.G. Hydrogeological functions of obskoye and baksinskoye swamps in the southeast of West Siberian Plain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / IOP

Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2021, 958, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/958/1/012018>, 2022, 958(1), 012018.

3) докладывались и обсуждались на 7 Международной научной конференции в г. Сиань, Китай, в ноябре 2021 г. (The 7th International Conference “Water Resource and Environment”, на научной конференции достижений Восточно-китайского технологического университета в октябре 2022 г., на Международных научных симпозиумах молодых научных сотрудников и студентов им. Академ. Усова в Томском политехническом университете (апрель 2022 и 2023 гг.).

Личный вклад автора. Автором лично сформулированы защищаемые положения на основе полевых работ и анализа данных, значительная часть которых получена лично в 2021–2023 гг. В том числе, автором в марте 2021 г. были отобраны 7 проб болотных вод на Обском болоте и 1 проба подземных вод на прилегающих к нему территориях, в октябре 2022 г. (совместно с Чжоу Дань) – 3 пробы подземных вод, 4 пробы речных вод, 3 пробы воды неиспользуемых ветландов, 1 проба воды с рисового поля, 4 пробы донных отложений рек, 4 пробы отложений ветландов в водосборе озера Поян (КНР), выполнены сбор, обобщение и анализ геохимических данных, на основе которых выявлены основные особенности состояния водных объектов в исследуемой части Обского болота и ветландов в водосборе озера Поян и проанализированы природно-антропогенные условия его формирования.

Структура и объём диссертации. Диссертация объёмом 155 страниц машинописного текста состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 294 наименований, содержит 42 рисунка и 27 таблиц.

В *первой главе* охарактеризована изученность проблемы взаимосвязи подземных и болотных вод и непосредственно основных объектов исследования, а также изложены используемые термины и определения. Во *второй главе* приведены сведения об объектах и методике исследования. В *третьей главе* описаны условия формирования подземных и болотных вод в районе Обского болота и в водосборе озера Поян. В *четвертой главе* приведен расчет и анализ уравнений водного баланса Обского болота и его водосбора, изменения фильтрационных свойств грунтов по глубине, кривых депрессии подземных и болотных вод, на основе чего оценены вертикальные и горизонтальные границы зоны взаимодействия подземных и поверхностных вод. В *пятой главе* выполнен анализ взаимосвязей между химическим составом подземных и болотных вод в Томской области и провинции Цзянси, в том числе посредством проверки на однородность гидрогеохимических данных. В *шестой главе* проведена оценка влияния загрязнения болот на состояние подземных вод по результатам эксперимента на Обском

болоте и материалам изучения взаимодействий вод и отложений ветландов в водосборе озера Поян.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, д.г.н., профессору Олегу Геннадьевичу Савичеву за его внимательное руководство в течение последних трех лет, а также его поддержку и помощь в научно-исследовательской работе; признательность и благодарность руководителю отделения геологии к.г.-м.н. Н.В. Гусевой, д.г.-м.н за ее контакт и общение с китайскими коллегами. Автор искренне благодарен за ценные замечания по содержанию работы и её апробации д.г.-м.н., профессору Е.М. Дутовой, д.г.-м.н., профессору Е.Г Язикову, д.г.-м.н., доценту О.Е. Лепокуровой и всему коллективу отделению геологии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ, д.г.-м.н. А.М. Плюснину, своим друзьям и коллегам в Восточно-китайском технологическом университете и в Куньминском университете науки и технологий в КНР.

1. Изученность проблемы взаимосвязи подземных и болотных вод в Китайской народной республике и Российской Федерации

1.1. Терминология и общая постановка проблемы изучения водных объектов в зоне гипергенеза

Объектами исследования являются подземные воды зоны гипергенеза и болотные воды. Согласно [ГОСТ 19179-73], под водным объектом понимается сосредоточение природных вод на поверхности суши или в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима – совокупности закономерно повторяющихся изменений состояния, присущих этому водному объекту, а под гипергенезом, в соответствии с [Словарь по гидрогеологии..., 1971; Словарь геологических..., 1995], – совокупность процессов физического и химического преобразования вещества в верхних частях земной коры и на её поверхности при взаимодействии био-, атмо-, гидро- и литосферы.

Согласно [Водный кодекс РФ, ст. 5], водные объекты подразделяются на подземные и поверхностные; к первым относятся бассейны подземных вод и водоносные горизонты, а ко вторым – моря или их отдельные части, водотоки (каналы и реки), водоёмы (озёра, водохранилища, обводненные карьеры), болота, природные выходы подземных вод (родники, гейзеры), ледники, снежники, причём поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии, определяемой по среднемноголетнему уровню воды в период, когда нет льда.

Болото – это «природное образование, занимающее часть земной поверхности и представляющее собой отложения торфа, насыщенные водой и покрытые специфической растительностью» [ГОСТ 19179-73, п. 192], в составе которых, в зависимости от мощности отложений торфа, различают заболоченные земли («болото с минеральными почвами или отложениями торфа не более 0,3 м в неосушенном состоянии») и торфяные болота (соответственно, с отложениями торфа от 0,3 м в неосушенном состоянии) [ГОСТ 21123-85, п.1, 3, 4]. Болота, заболоченные земли и ряд объектов, подверженных постоянному или периодическому затоплению (лагуны, поймы и зарастающие озера), в ряде случаев рассматриваются как водно-болотные угодья или ветланды (далее используется, преимущественно, этот термин).

Однако многие российские гидрогеологи традиционно рассматривают болотные воды как разновидность верховодки [Овчинников, 1955; Шварцев, 2012], хотя верховодка – это воды первого от поверхности временного водоносного горизонта, а болото при исчезновении

болотных вод по (указанному выше) определению перестает существовать как природный объект. Соответственно, если и рассматривать болото как подземный водный объект, то болотные воды – скорее (специфическая) разновидность грунтовых вод (вод первого от поверхности постоянного водоносного горизонта в зоне полного насыщения [Шварцев, 2012]). Именно такой позиции мы придерживались при проведении рассматриваемого исследования.

Актуальность изучения взаимодействий подземных и болотных вод обозначена во введении. Здесь лишь отметим следующее: 1) процессы формирования и эволюции болот и водно-болотных угодий, так или иначе, не могут не оказывать влияние на условия формирования и химический состав подземных вод (например, вследствие инфильтрации не только атмосферных вод, но и болотных, содержащих большое количество органических веществ и продуктов их трансформации), что определяет актуальность исследований подобных воздействий; 2) взаимодействия между подземными и болотными водами являются важным средообразующим фактором и (во многих случаях) фактором, определяющим эколого-геохимическое состояние водных объектов – источников хозяйственно-питьевого водоснабжения [Подземные воды мира..., 2007].

Соответственно, исследования в этом направлении проводятся давно по всему миру, в том числе в Московском государственном университете (МГУ), Институте географии (ИГ) РАН, Институте нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) СО РАН, Институте мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, Томском государственном университете (ТГУ), Томском политехническом университете (ТПУ) и многих других организациях, причем в ТПУ подобные работы проводятся с 1960-х гг., когда сотрудники тогда еще Томского политехнического института (ТПИ) принимали активное участие в научном обосновании геолого-разведочных работ на торф и другие виды полезных ископаемых, в том числе в обсуждении вопросов источников и процессов формирования геохимических аномалий железа и ряда других химических элементов в системе «болото – подземные водоносные горизонты». Тем не менее, дискуссия по этим вопросам никогда не утихала, а в ряде случаев вспыхивает с новой силой.

Так, в [Рассказов и др., 1971] высказывается сомнение в существенной роли грунтовых вод в формировании химического состава не только верховых, но и низинных болот: «Общепринято считать, что основным источником питания их (низинных болот, примечание автора) служат грунтовые воды. Однако фактический материал предыдущих и наших исследований не подтверждает эту точку зрения применительно к низинным месторождениям юго-восточной части Васюганья, залегающих на водоразделах на глинах и суглинках мощностью

от 20 до 40 м» [Рассказов и др., 1971, с. 230]. Приведенная выше цитата не согласуется с достаточно часто встречающимися утверждениями о возможности миграции железа в болото из подземных горизонтов (и наоборот), наиболее определенно выраженными в работе [Веретенникова и др., 2021, с. 572]: «К особенностям торфяной залежи болота Бакчарское можно отнести более высокое содержание Fe в торфах, которое определяется, вероятнее всего, его повсеместным распространением в подземных, в том числе болотных, водах, причины сосредоточения которого в них до настоящего времени до конца не ясны. С одной стороны, его высокое содержание в болотных экосистемах может быть обусловлено влиянием крупнейшего в России Бакчарского железорудного месторождения (Архипов и др., 1988) (в руде содержится от 30 до 46% железа), пространственная приуроченность которого территориально совпадает с расположением этого болота».

Есть разночтения и с выводами о соотношении химического состава болотных и грунтовых вод, например: 1) «В северных районах (Томской области, где широко распространены верховые болота, – примечание автора) и под болотными массивами благодаря высокому содержанию CO_2 (до 176 мг/дм³) воды имеют слабокислую реакцию и высокую агрессивность...» [Ермашова, 1998, с. 9] (то есть обмен между грунтовыми водами и водами верховых болот существует и он значим?); 2) «натрий и калий в смешанных и натриевых группах вод, свойственных районам с песчаной зоной аэрации (Обь-Чулымское междуречье, устье р. Чулым, правобережье р. Кеть), достигают 40–72 экв.%. Очевидно, на их накопление влияют болотные воды, так как вблизи болот их концентрация возрастает в 2–3 раза» [Ермашова, 1998, с. 15] (в правобережье р. Кеть распространены верховые болота на песчаных грунтах, но с придонным слоем суглинков, а в Причулымье – в большей степени низинные болота; из цитируемого утверждения следует, что в обоих случаях имеет место водообмен между грунтовыми и болотными водами).

Перечисление противоположных по смыслу или хотя бы несогласующихся между собой утверждений о механизмах и масштабах взаимного влияния подземных и болотных вод можно продолжить, но в целом очевидно, что проблема изучения таких взаимодействий существует, а соответствующие исследования – актуальны. С учетом этого данная работа рассматривается нами как маленький шаг в направлении решения указанной проблемы, а именно, получения количественных оценок взаимосвязей между показателями водного и гидрогеохимического режимов подземных водных объектов и болот с использованием современных методов определения химического состава вод.

Рассматриваемая работа относится к гидрогеологическим, геохимическим и геоэкологическим исследованиям. Согласно [ГОСТ Р 53795-2010], под гидрогеологическими исследованиями понимается изучение подземных вод, их происхождения, состава, свойств, закономерностей распространения и движения, взаимодействия с горными породами и их связи с поверхностными водами с использованием геологических, геофизических и геохимических методов, под геохимическими исследованиями – изучение законов миграции и распределения атомов химических элементов в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере, включающее в том числе литогеохимические и гидрогеохимические работы, а под геоэкологическими – комплекс геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, эколого-геохимических, геофизических исследований с целью изучения состояния окружающей среды. В свою очередь, литогеохимические исследования – это работы по изучению аномальных геохимических полей, химических элементов и их соединений, вторичных изменений химического состава и свойств пород, грунтов, почв и минеральных новообразований, гидрогеохимические исследования – работы по изучению аномальных гидрогеохимических полей, миграции химических элементов и их соединений, вторичных преобразований состава вод, а эколого-геохимические исследования – работы по изучению природных геохимических аномалий, ареалов техногенного загрязнения и их влияния на живые организмы, социальные и экологические системы [ГОСТ Р 53795-2010].

С учётом приведённых выше определений диссертационная работа подготовлена в рамках гидрогеологии – научной дисциплины, объединяющей исследования в области разработки теоретических основ формирования ресурсов и состава подземных вод различных типов – пресных, минеральных (лечебных), промышленных, теплоэнергетических, а также совершенствование методов оценки, поисков, разведки и эксплуатации месторождений этих вод и соответствует областям исследования (паспорт специальности 1.6.6 – Гидрогеология):

- 1) закономерности формирования ресурсов и режима подземных вод (п. 1);
- 2) условия и процессы формирования вещественного состава подземных вод (химического, газового, изотопного, бактериального; п. 3);
- 3) теоретические модели геофильтрационных и геомиграционных процессов: методы оценки параметров этих моделей и моделирования (п. 4);
- 4) исследование природно-технических систем, связанных с подземными водами (п. 6);
- 5) оценка защищенности пресных подземных вод от загрязнения (п. 7);
- 6) комплексное использование ресурсов подземных и поверхностных вод (п. 11);

7) гидрогеологический мониторинг геологической среды с целью контроля и оценки ее экологического состояния (п. 12).

1.2. Изученность подземных вод и водно-болотных угодий в бассейне озера

Поян

Водосбор озера Поян – одного из крупнейших пресноводных озёр в мире, в целом, и Восточной Азии, в частности, – расположен на границе участков среднего и нижнего течения реки Янцзы (в южной части этой территории), а в административном отношении – на юго-востоке Китайской народной республики, в пределах провинций Цзянси. Гидрографическая сеть представлена собственно озером Поян, соединённым с р. Янцзы протокой, а также притоками озера Поян, основными из которых являются реки Ганьцзян (наиболее крупный), Фухэ, Синьцзян, Жаохэ и Сюшуй. Значительную часть приозёрных территорий занимают водно-болотные угодья, часть из которых не используется в хозяйственном отношении.

Все указанные водные объекты имеют дождевое и подземное питание, что, в том числе, дополнительно определяет актуальность водно-экологических исследований, поскольку (1) регулирование стока р. Янцзы и климатические изменения влияют на уровенный режим озера Поян, что, в свою очередь, (2) приводит к существенным изменениям режима подземных вод и состояния ветландов. Указанные выше изменения усложняют проблемы водопользования вследствие дефицита водных ресурсов необходимого качества (3). При этом дополнительно обостряется проблема качества вод (4) вследствие взаимосвязей между подземными и речными водами, водами ветландов. В целом, очевидна общая проблема формирования и функционирования водной экосистемы озера Поян, включающей в себя аспекты изучения собственно озера, условий его взаимодействий с р. Янцзы, подземными водами, водами ветландов и т.д.

Каждый из этих аспектов в той или иной степени был предметом исследований многочисленных авторов. Так, в работах [Shankman, Keim, Song, 2006; Shankman, Davis, De Leew, 2009; Li, Zhang, Liu, Yao, 2020] подробно рассмотрены вопросы изменчивости водного режима озера Поян и его водного баланса, в работах [Li et al., 2015; Li et al., 2017; Liao et al., 2018; Song et al., 2023] – взаимодействие озёрных и подземных вод, включая региональное гидрогеологическое моделирование [Song et al., 2023].

Вопросы формирования химического состава подземных и речных вод в водосборе озера Поян достаточно подробно рассмотрены в работах [Yang, Wang, 2011; Soldatova, Guseva, Wang, 2014; Zhang Meihua, 2014; Soldatova et al., 2015; Soldatova et al., 2016; Shvartsev et al., 2016;

Солдатова, 2016; Zhang et al., 2017; Liu et al., 2017; Soldatova et al., 2018; Гусева, 2018; Dong et al., 2019; Soldatova et al., 2019; Xua et al., 2020; Солдатова и др., 2020; Солдатова, Иванова, Дон, Ли, 2020; Li, Zhang, Liu, Yao, 2020; Солдатова, Торопов, 2021; Soldatova et al., 2022]. Несколько меньше работ по геохимии ветладов [Yang, 2019; Wang et al., 2017; Meng et al., 2017; Soldatova et al., 2020], но имеется ряд публикаций, в которых рассмотрены смежные вопросы взаимодействия биоты и геосреды [Zhu HaiHong, Zhang Ben, 1997; Sun et al., 2014; Zhang et al., 2019; Sun et al., 2020].

Тем не менее, вопросы взаимовлияния ветландов в водосборе озера Поян и подземных вод с точки зрения формирования химического состава и качества последних (то есть подземных вод) остаются недостаточно проработанными, особенно в плане количественных оценок закономерностей пространственно-временных изменений и объяснений механизмов такого взаимовлияния. Это определило актуальность, цель и задачи рассматриваемой работы, являющейся дальнейшим развитием российско-китайских гидрогеохимических исследований в водосборе озера Поян, выполняемых примерно последние 10 лет [Shvartsev et a., 2016; Солдатова, 2016; Гусева, 2018].

Поскольку объективность ожидаемых результатов в соответствии с поставленными задачами в общем случае повышается при рассмотрении различных условий, то исследование включало в себя не только изучение ветландов и подземных вод в водосборе Поян (КНР), но и Обского болота в Западной Сибири (РФ). Это болото низинного типа, расположено в долине другой крупнейшей реки Азии – Оби, на границе лесостепной и лесной природных зон и наиболее близко по водному и геохимическому режимам к ветландам в водосборе озера Поян.

1.3. Изученность Обского болота и подземных вод прилегающих территорий

Западная Сибирь характеризуется очень высокой заболоченностью, превышающей для водосборов ряда средних рек 50 % их территории [Ресурсы поверхностных вод..., 1972; Лисс и др., 2001]. Соответственно, высокая заболоченность оказывает значительное влияние практически на все аспекты функционирования геосистем этого региона, включая подземные воды.

Поскольку болотные воды содержат большое количество органических и ряда других веществ, то их поступление в подземные водоносные горизонты может негативно сказаться на качестве подземных вод – основного источника водоснабжения в равнинной части Западной Сибири [Гидрогеология СССР..., 1970; Ресурсы поверхностных..., 1991]. Всё это определяет перманентную актуальность исследований и подземных, и болотных вод, особенно на фоне наблюдаемых изменений климата и хозяйственной деятельности [Адам, 2005; Шварцев, 2012], в том числе и в Томской области, заболоченность территории которой превышает 25 %.

Среди болот Томской области выделяются крупные болотные комплексы, например, гигантское Васюганское болото [Львов, 1991; Лисс и др., 2001], состоящее из меньших по размеру болот разных типов (верхового, переходного и низинного). Есть и очень большие низинные болота, расположенные в речных долинах. Одно из таких болот – Обское. Оно занесено в Кадастр торфяных болот РФ (ранее – СССР) [Карта торфяных месторождений..., 2000].

Его изучением до 2000-х гг. в большинстве случаев занимались для решения геоботанических и экологических задач, либо задач обоснования использования торфов [Лапшина, 1995; Инишева и др., 1995]. В 2007 г. была опубликована работа [Shipper et al., 2007], в которой были комплексно рассмотрены вопросы формирования экологического состояния Обского болота и гидрогеологические условия его функционирования. Затем была опубликована серия работ по изучению химического состава вод и торфов этого болота в естественном и нарушенном состояниях [Савичев и др., 2013; Савичев, 2015; Иванова и др., 2020; Savichev et al., 2020], продолжением которых и является рассматриваемое исследование.

Также отметим, что, на наш взгляд, исследование должно включать изучение не только какого-либо конкретного объекта, но, как минимум, нескольких, чтобы была возможность более достоверно выявить и закономерности, и особенности. С учётом этого в работе были использованы результаты изучения и других болот на территории Томской области, изложенные в [Лисс и др., 2001; Савичев, 2015; Sacichev et al., 2019, 2020; Kharanzhevskaya, Voistinova, Sinyutkina, 2020] и ряде других работ, ссылки на которые приведены далее по мере необходимости.

Район Обского болота расположен в юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) на границе с Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой областью (САГСО). Результаты изучения подземных вод этой и прилегающих к ней территорий изложены в большом количестве публикаций, среди которых необходимо отметить крупные обобщения [Гидрогеология СССР..., 1970; Научные предпосылки освоения..., 1977; Гидро- и инженерно-геологические..., 1987; Ресурсы пресных..., 1990; Шварцев, 1998; Ермашова, 1998; Рогов, Попов, Осипова, 2003; Дутова, 2005; Гусева, 2018; Лепокурова, 2018]. Ежегодная информация о состоянии и использовании подземных вод региона приводится в изданиях Сибирского регионального центра (СРЦ) ФГБУ «Гидроспецгеология» [Состояние геологической среды..., 2021].

Также отметим, что различные аспекты формирования ресурсов и химического состава подземных вод района исследования в последние годы рассмотрены в [Горохова, Зятева, 2001; Колоколова, 2003; Здвижков, 2005; Харанжевская, 2011; Камнева, 2012; Иванова, 2013;

Наймушина, 2014; Колубаева, 2015; Шмаков, 2016; Янкович, 2017; Шайхиев, 2017; Моисеева, 2018; Балобаненко, 2018; Кузеванов, 2022].

Вопросы взаимодействия подземных и болотных в разной степени ранее обсуждались в работах [Расказов и др., 1971; Научные предпосылки освоения..., 1977; Гидро- и инженерно-геологические..., 1987; Шварцев, 1998; Здвижков, 2005; Shipper et al., 2007; Харанжевская, 2011; Камнева, 2012; Иванова, 2013; Наймушина, 2014; Шмаков, 2016; Шайхиев, 2017; Моисеева, 2018; Кузеванов, 2022], но либо на примере конкретных болот, либо путём сопоставления отдельных геохимических показателей вод. И в любом случае – обычно без учёта водного режима и специфики болот разных типов. Попытка преодолеть последнее ограничение и была предпринята в рамках рассматриваемого исследования.

2. Объекты и методика исследования

Основные задачи рассматриваемого исследования: 1) количественная оценка элементов водного баланса и гидрогеодинамических условий взаимодействий подземных и болотных вод низинного Обского болота; 2) выявление взаимосвязей между химическим составом подземных вод верхней гидродинамической зоны и болотных вод на юго-востоке Западной Сибири (Томская область, РФ) и в водосборе озера Поян (провинция Цзянси, КНР; рис. 2.1); 3) оценка влияния загрязнения болот на состояние связанных с ними подземных вод на примере низинного Обского болота (Томская область, РФ) и водно-болотных угодий в водосборе озера Поян (провинция Цзянси, КНР).

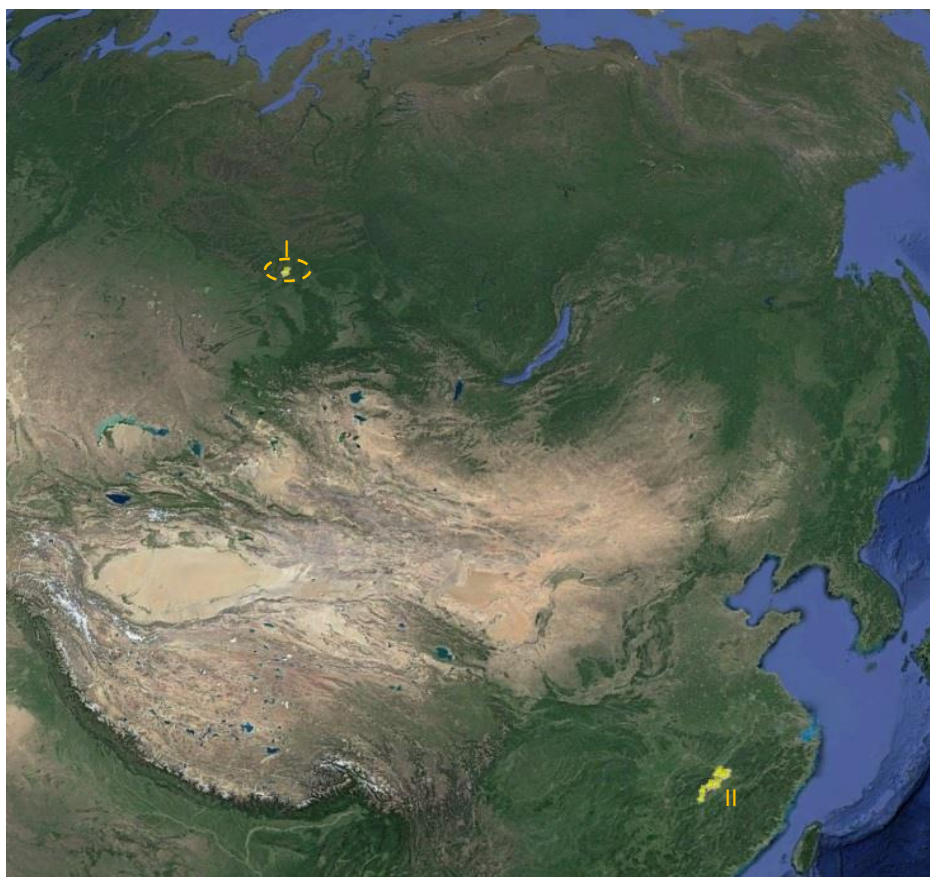


Рисунок 2.1 – Схема размещения объектов исследования в районе Обского болота (I) и в водосборе озера Поян (II) (основа – снимок Google Earth); пунктиром показана территория, охватывающая пункты наблюдений на Баксинском, Тимирязевском и Васюганском болотах

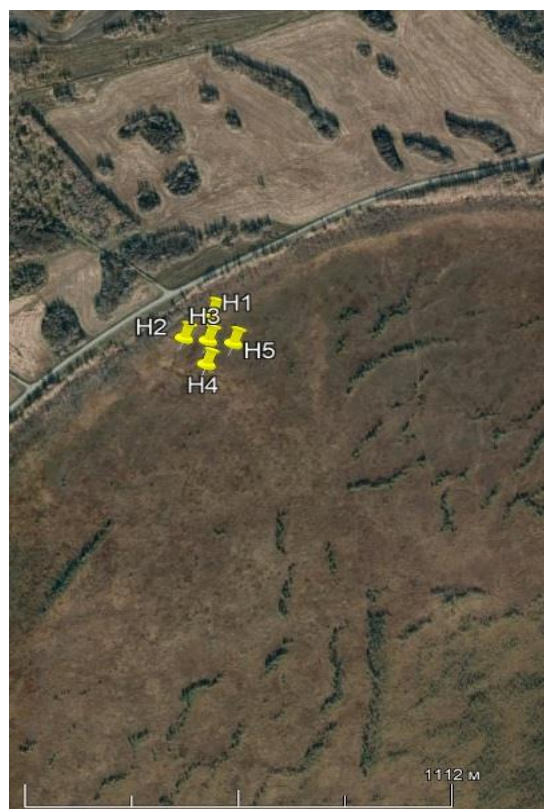
В соответствии с указанными выше задачами были выбраны основные объекты исследования:

1) подземные и болотные воды в районе размещения торфяного евтрофного (низинного) Обского болота, расположенного в долине одной из крупнейших рек мира – реки Обь, на юго-

востоке Западно-Сибирской равнины, в гидрогеологическом отношении – на границе Саяно-Алтайской горно-складчатой области и Западно-Сибирского артезианского бассейна (рис. 2.1, 2.2);



а)



б)

Рисунок 2.2 – Схема размещения пунктов наблюдений в рамках эксперимента по изучению самоочищения Обского болота (основа – снимок Google Earth)

2) подземные воды и воды ветландов в бассейне озера Поян – в юго-восточной части Китая, а в географическом отношении – Восточной Азии (рис. 2.1, 2.3). Кроме того, широко использовались данные о подземных и болотных водах в пределах южнотаежной подзоны Западной Сибири (Баксинское, Васюганское и Тимирязевское болота; рис. 2.4).

Выбор болотных объектов обусловлен их изученностью и типичностью для таежной зоны равнинной части Западной Сибири и субтропических лесов Восточного Китая. Основным источником информации по составу подземных вод и вод ветландов, водных и кислотных вытяжек грунтов ветландов (включая торфа) – данные, полученные в Томском политехническом университете (ТПУ) совместно с Н.В. Гусевой, Е.А. Солдатовой, А.К. Мазуровым, М.А.

Рудминым, А.А. Хващевской, Н.Г. Наливайко, А.Ю. Ивановым и рядом других сотрудников отделения геологии ТПУ.

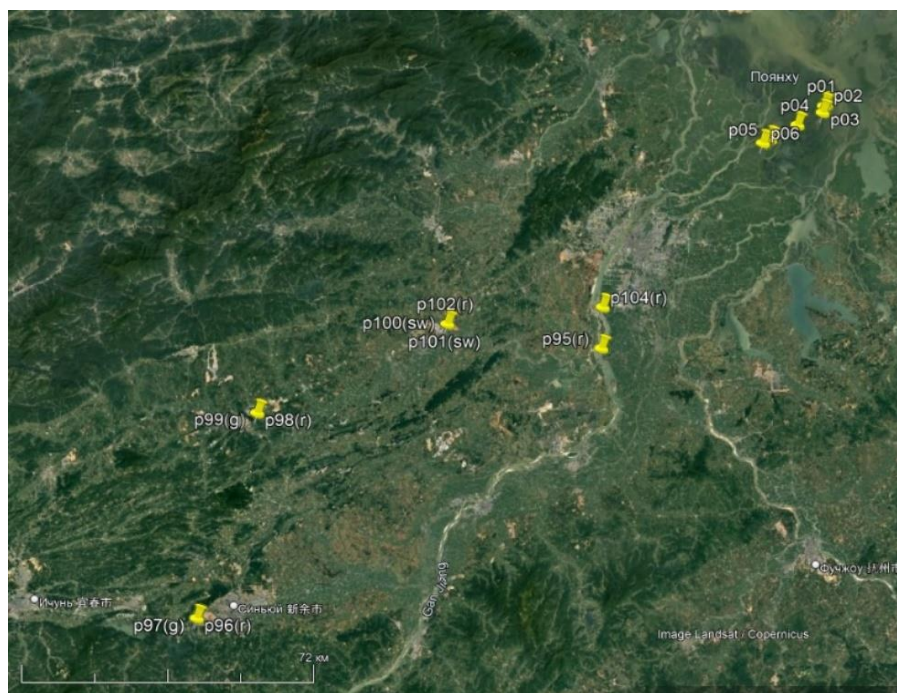


Рисунок 2.3 – Схема размещения пунктов отбора проб подземных, речных, сточных вод, донных отложений рек, вод и отложений ветландов в водосборе озера Поян в 2019 и 2022 гг. (основа – снимок Google Earth)

В районе размещения всех указанных выше ветландов распространены: 1) в районе Обского болота (РФ) – грунтовые воды в отложениях четвертичного возраста, артезианские – в отложениях палеогенового и мелового возраста (в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна), причем водоносные горизонты в отложениях палеогена повсеместно (особенно в Обь-Томском междуречье) используются для водоснабжения; 2) в бассейне озера Поян – грунтовые воды (по условиям залегания, с учетом разъяснений [Шварцев. 2012]; по условиям циркуляции согласно [ГОСТ Р 59054-2020] – поровые и порово-трещинные преимущественно в четвертичных отложениях) и воды зоны региональной трещиноватости в породах разного возраста.

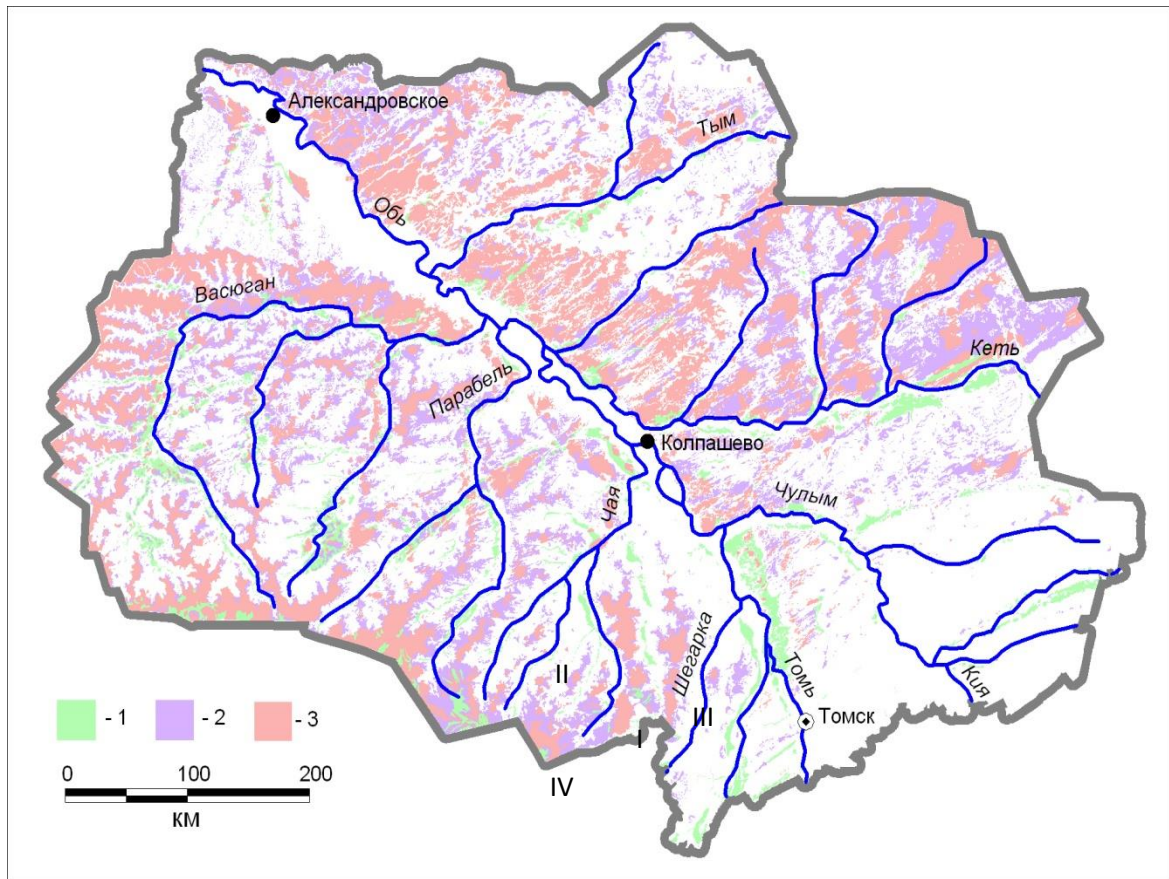


Рисунок 2.4 – Схема размещения болот на территории Томской области [Савичев, 2010] и их участков, информация по которым использована в исследовании; условные обозначения: а) типы болот: 1 – низинный (евтрофное питание); 2 – переходное (мезтрофное питание); 3 – верховой (олиготрофное питание); участки исследования ТПУ: I – Обское болото (участки у с. Нашеково – место проведения эксперимента, а также у сел Мельниково и Кожевниково); II – верховые, переходные и низинные участки Васюганского болота (основной участок – между урочищем Гавриловка и с. Полынянка); III – Тимирязевское болото; IV – Баксинское болото (на территории Новосибирской области)

Источниками информации о химическом составе подземных вод района исследований являются: 1) в районе Обского болота (РФ) – материалы наблюдений на сети государственного мониторинга недр (Томская геолого-разведочная экспедиция, АО «Томскгеомониторинг», Сибирский региональный центр ФГБУ «Гидроспецгеология»), а также результаты наблюдений ТПУ и Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН [Геологическое состояние..., 2008, 2018, 2019, 2020, 2021; Савичев и др., 2013; Иванова и др., 2020; Savichev et al., 2020; Ермашова, 1998; Горохова, Зятева, 2001; Савичев, Ян, 2021; Savichev, Moiseeva, Guseva, 2022 и др.]; 2) в бассейне озера Поян – данные исследований взяты из

«Гидрологического ежегодника озера Поян» Китайской Народной Республики и ряда опубликованных работ [Zhu Meihua, 2014; Li et al., 2015; Li et al., 2017; Liao et al., 2018; Song et al., 2023].

В соответствии с поставленными задачами методика исследования включала в себя следующие этапы: 1) составление уравнения водного баланса Обского болота и его водосбора и анализ взаимосвязей между элементами водного баланса; 2) анализ взаимосвязей между уровнями подземных вод и вод ветландов; 3) анализ взаимосвязей между химическим составом подземных вод и вод ветландов; 4) анализ влияния загрязнения ветландов на состояние подземных вод, связанных с ветландами.

Этап I. Методика исследования водного баланса ветландов определяется целью, задачами исследования и имеющимися данными, а именно в случае:

1) Обского болота: 1.1) поперечный профиль Обского болота южнее с. Нащекново [Shipper et al., 2007]; 1.2) поперечный профиль долины реки Обь у с. Мельниково [Савичев и др., 2013]; 1.3) данные о глубинах торфяной залежи, химическом составе торфов по глубине торфяной залежи и болотных вод в деятельном горизонте торфяной залежи, вещественном составе минеральных включений в торфах у сел Мельниково и Нащекново в 2002–2019 гг. [Shipper et al., 2007; Савичев и др., 2013; Savichev et al., 2020; Иванова и др., 2020]; 1.4) среднемесячные уровни болотных вод Баксинского болота в 1961–1969 гг. [Ресурсы..., 1972]; 1.5) данные о режиме подземных вод по результатам гидрогеологических наблюдений на скважинах у с. Мельниково, вскрывающих палеоген-четвертичный, верхнемеловой водоносные комплексы [Горохова, Зятева, 2001; Колоколова, 2003; Льготин, Савичев, Макушин, 2010; Гидрогеология СССР., Т.16, 1970; Ресурсы пресных и маломинерализованных..., 1991; Гусева, 2018; Состояние геологической среды..., 2019]; 1.6) гидрогеологические разрезы Обь-Томского междуречья и междуречий Икса–Шегарка–Обь [Гидрогеология СССР., Т.16, 1970]; 1.7) характеристики фильтрационных свойств торфов Томской области [Емельянова, Крамаренко, 2001]; 1.8) морфометрические характеристики, данные о расходах и уровнях воды рек Обь, Шегарка, Бакса, данные о температуре атмосферного воздуха, атмосферных осадках, относительной влажности атмосферного воздуха на метеостанциях Томск, Бакчар, Северное, Болотное, Огурцово (Новосибирск) [Ресурсы поверхностных..., 1972; Емельянова, Крамаренко, 2001; Основные гидрологические характеристики..., 1979; Научно-прикладной..., 1993] с использованием данных ряда авторов об условиях развития болотных процессов [Лисс и др., 2001; Состояние геологической среды..., 2019; Zemtsov et al., 2019; Kharanzhevskaya, Voistinova, Sinyutkina, 2020] и материалов Росгидромета;

2) ветландов в бассейне озера Поян: 2.1) метеорологические данные и результаты анализа связей между ними и водным режимом озера [Cai Lulu, Zhao Junkai, Miao Jiahui, 2017; Tang Chuanshi, Xu Aihua, Ma Fengmin, Dai Zhijian, 2018; Zhang Chaomei, Wu Qiong, Huang Caiting, 2021; Shang Lijun, Liao Huamei, Tu Zhe, Zhong Keyuan, Meng Lihong, Du Chao, 2021]; 2.2) результаты моделирования элементов водного баланса и водного режима озера Поян и подземных вод в его водосборе [Zhu Manli, Gao Haiying, Xu Ligang, Zhang Jie, Wu Yongming, 2015; Shankman, Keim, Song, 2006; Shankman, Davis, De Leew, 2009; Li, Zhang, Liu, Yao, 2020; Li et al., 2015; Li et al., 2017; Liao et al., 2018; Song et al., 2023]; 2.2) данные изучения химического состава подземных вод и вод ветландов в водосборе озера Поян, включая результаты российско-китайских исследований, выполняемых с 2013 г. [Солдатова, 2016; Гусева, 2018; Soldatova et al., 2020, 2022].

Методика оценки элементов водного баланса Обского болота (с учетом отсутствия наблюдений непосредственно на этом болоте) представляла собой последовательность следующих мероприятий [Савичев, Ян, 2021; Савичев, Ян, Чжоу, 2022]:

1) расчет водного баланса водосбора реки Бакса в створе с. Пихтовка, в верхней части которого расположено Баксинское болото – наиболее близкий по свойствам аналог Обского болота, в том числе (морфометрические характеристики водосбора и реки: длина реки от истока $L_q=18$ км; площадь водосбора $F_b=296$ км²; озерность $f_{fen}=1$ %; заболоченность $f_{fen}=60$ %; лесистость $f_{frs}=35$ %; средняя высота водосбора $Z_b=140$ м [Ресурсы поверхностных..., 1972; Основные гидрологические..., 1979]):

1.1) расчет месячных сумм атмосферных осадков P_m (мм/мес), среднемесячных значений температуры приземных слоев атмосферного воздуха T_m (°С) и дефицита влажности d_m (гПа) для геометрического центра водосбора как средневзвешенное по соответствующим данным метеостанций Томск, Бакчар, Северное, Болотное, Огурцово за период с 1966 по 2019 г. (1):

$$X_{bc} = \frac{\sum \frac{X_k}{l_k}}{\sum \frac{1}{l_k}}, \quad (2.1)$$

где X_{bc} – искомое значение величины X в геометрическом центре водосбора (за каждый m -месяц j -го года); l_k – расстояние от геометрического центра водосбора до k -ой метеостанции [СП 33-101-2003; Методика расчета водохозяйственного баланса..., 2007];

1.2) проверка на однородность ряда наблюдений P_m по дисперсии (критерий Фишера k_F (2)) и среднему (критерий Стьюдента k_S (3)) с целью выделения условно однородного периода (с уровнем значимости 5 %) для расчета характеристик среднегодового водного баланса и параметров для расчета испарения:

$$k_F = \frac{D_1}{D_2}, \quad (2.2)$$

$$k_S = \frac{|A_1 - A_2|}{\sqrt{N_1 \cdot D_1 + N_2 \cdot D_2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}}, \quad (2.3)$$

где A_1, A_2, D_1, D_2 – средние арифметические значения и дисперсии для двух выборок объемами N_1 и N_2 ; в формуле (2) в числителе – наибольшее значение, в знаменателе – наименьшее из двух; объемы выборок последовательно изменяются от $(4; N-4)$ до $(N-4; 4)$, где $N=N_1+N_2$ [Пособие по определению расчетных..., 1984];

1.3) расчет среднегоголетнего испарения за год E_{ya} (мм/год) для однородного периода по разнице между среднегоголетними значениями слоя атмосферного увлажнения P_{ya} (мм/год) и водного стока реки Бакса у с. Пихтовка Y_{ya} (мм/год):

$$E_{ya} = P_{ya} - Y_{ya} - \Delta W_b = P_{ya} - Y_{ya} - \Delta W_{fen} \cdot f_{fen*}, \quad (2.4)$$

где $\Delta W_b, \Delta W_{fen}$ – изменение влагозапасов в водосборе в целом и в болотах в частности (мм/год); f_{fen*} – заболоченность водосбора (в долях единицы); согласно [6, 31], для таежной зоны Западной Сибири скорость прироста торфяной залежи v_{pd} составляет в среднем около 1 мм/год, для верховых болот – 1,15 мм/год, для низинных болот – 0,59 мм/год; с учетом этого при средней влажности торфа $W_p=79,2\%$ низинных болот Кожевниковского района Томской области [Карта торфяных месторождени..., 2000; Инишева и др., 1995] среднегоголетнее значение $\Delta W_{a, fen} = v_{pd} \cdot W_p = 1,15 \cdot 0,792 \approx 0,47$ мм/год; заболоченность водосбора реки Бакса в створе с. Пихтовка $f_{fen}=60\%$ [Основные гидрологические..., 1979];

1.4) расчет месячных значений испарения $E_{m(-)j}$ (мм/мес) с поверхности водосбора в холодный период (в месяцы с отрицательными среднемесячными температурами воздуха) по уравнению П.П. Кузьмина [Ресурсы поверхностных..., 1972]:

$$E_{m(-)j} = 0,34 \cdot d_{mj} \cdot N_m, \quad (2.5)$$

где d_{mj} – дефицит влажности за m -месяц j -го года; N_m – количество суток в месяце;

1.5) расчет для каждого j -го года испарения с поверхности водосбора за месяцы теплого периода (с положительными среднемесячными температурами воздуха) из предположения о пропорциональности внутригодового изменения испарения и дефицита влажности [Manual on Stream..., 2010; Мезенцев, 1982] по уравнению (2.6):

$$E_{m(+)j} = E_{ya} \cdot \left(\frac{d_{m(+)j}}{d_{ya}} \right)^{k_d}, \quad (2.6)$$

где d_{ya} – среднегоголетнее значение дефицита влажности за однородный период (гПа); k_d – эмпирический коэффициент, подбираемый из условия:

$$Kr = 100 \cdot \frac{|E_{ya} - E_{yas}|}{E_{ya}} \rightarrow 0, \quad (2.7)$$

где E_{yas} (мм/год) – среднее годовое расчетное испарение за однородный период (сумма месячных значений испарения за теплый и холодный периоды); подбор k_d производится подбором с погрешностью не более 1 % (использовался инструмент «поиск решения» в MS Excel с применением метода общего понижающего градиента); для водосбора реки Бакса у с. Пихтовка $k_d=0,991$ при $Kr=3,45 \cdot 10^{-5}$ %;

1.6) подбор параметра $n(M)$ для расчета среднемноголетнего испарения $E_{ya(M)}$ (мм/год) с поверхности водосбора по методу гидроклиматических расчетов [Мезенцев, 1982]:

$$E_{ya(M)} = E_{max,a} \cdot \left(1 + \left(\frac{P_{ya}}{E_{max,a}} \right)^{-n(M)} \right)^{-\frac{1}{n(M)}}, \quad (2.8)$$

$$E_{max,a} = 5,1 \cdot \sum T_{m(+)} + 382, \quad (2.9)$$

где $E_{max,a}$ – водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов (мм/год); $\sum T_{m(+)}$ – сумма положительных температур воздуха за год; подбор $n(M)$ осуществлялся так же, как и в случае k_d , по условию (2.7); для водосбора р. Баксы у с. Пихтовка $n(M)=1,684$ при $Kr=1,20 \cdot 10^{-6}$ %;

1.7) расчет испарения $E_{mj, fen}$ (мм/мес) с поверхности болота согласно [Гидрологические расчеты при осушении..., 1963; Гидрометеорологический режим..., 2019] по уравнению (2.10):

$$E_{mj, fen} = k_{rb} \cdot Rb_{mj}, \quad (2.10)$$

$$k_{rb} = 13,6 + 9,88 \cdot 10^{-2} \cdot h_{mj, fen}, \quad (2.11)$$

где $h_{mj, fen}$ – глубина болотных вод относительно средней поверхности болота (м); Rb_{mj} – радиационный баланс деятельной поверхности (кДж/м²); между значениями Rb_{mj} и рядом функций температуры воздуха установлены статистически значимые связи [Мезенцев, 1984; Allen et al., 1998]; с учетом этого и формулы (2.6) авторами для условий Западной Сибири в теплый период года по данным [Орлова, 1962] получена зависимость:

$$E_{m(+),j, fen} = 4,402 \cdot E_{ya} \cdot \left(\frac{d_{m(+),j}}{d_{ya}} \right)^{k_d} \cdot (\sum T_{m(+)})^{-0,5}, \quad (2.12)$$

параметры 4,402 и $-0,5$ получены при условии минимума функции $\frac{S}{\sigma}$ (13):

$$\frac{S}{\sigma} = \sqrt{1 - R^2} = \sqrt{\frac{\sum (X_o - X_s)^2}{(N-1) \cdot D_o}} \rightarrow 0, \quad (2.13)$$

где R^2 – квадрат корреляционного отношения согласно [Nash, Sutcliffe, 1970]; X_o и X_s – измеренные и расчетные значения величины X ; D_o и σ – дисперсия и стандартное отклонение X_o ; N – объем выборки; в рассматриваемом случае $\frac{S}{\sigma}=0,45$; сумма положительных температур в (2.12) рассчитана с начала гидрологического года (с октября);

1.8) расчет максимально возможной месячной водоотдачи из снежного покрова $S_{mj,max}$ (мм/мес) по уравнению (2.14), влагозапасов в снежном покрове $V_{S_{mj}}$ (мм) по уравнению (2.15) и «фактической» водоотдачи из снежного покрова S_{mj} (мм/мес) по уравнению (2.16):

$$S_{mj,max} = k_T \cdot T_{mj} \cdot N_m, \quad (2.14)$$

$$V_{S_{mj}} = V_{S_0} + P_{m(-)j} - S_{mj,max} - E_{m(-)j}, \quad (2.15)$$

$$S_{mj} = \begin{cases} V_{S_{mj-1}} - V_{S_{mj-1}}, & V_{S_{mj-1}} - V_{S_{mj-1}} > 0 \\ 0, & V_{S_{mj-1}} - V_{S_{mj-1}} \leq 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

где k_T – коэффициент стаивания (принято $k_T=5$ мм/(сут·°C); $P_{m(-)j}$ – атмосферные осадки в холодный период (при отрицательных температурах), рассматриваемые условно как снег; начальное значение $V_{S_0}=0$ установлено для июля [Руководство по гидрологическим прогнозам..., 1989; Гельфан, 2007];

1.9) расчет эффективного увлажнения H_{mj} (мм/мес):

$$H_{mj} = S_{mj} + P_{m(+j)}, \quad (2.17)$$

$P_{m(+j)}$ – атмосферные осадки в теплый период (при положительных среднемесячных температурах воздуха), рассматриваемые условно как дождь;

1.10) расчет изменений влагозапасов в болотах, исходя из условия:

$$\frac{1}{N_y} \cdot \sum (H_{mj,fen} - E_{mj,fen} - k_{yf} \cdot Y_{mj}) = \Delta W_{a,fen} \approx 0,47 \text{ мм/год}, \quad (2.18)$$

$$\Delta W_{mj,fen} = \mu_{mj,fen} \cdot \Delta Z_{mj,fw} + \Delta W_{mj,fg}, \quad (2.19)$$

$$\Delta Z_{mj,fw} = Z_{mj,fw} - Z_{[m-1]j,fw}, \quad (2.20)$$

где N_y – количество расчетных лет; $H_{mj,fen}$, $E_{mj,fen}$ – эффективное увлажнение и испарение с поверхности болота в m -месяц j -го года ($j=1, \dots, N_y$) в мм/мес; k_{yf} – поправочный коэффициент пересчета слоя стока с водосбора Y_{mj} к слою стока $Y_{mj,fen}$ (мм/мес) с болот, определяемый подбором по условию (2.7) при допущении $\Delta W_{a,fen} \approx 0,47$ мм/год; для водосбора реки Бакса у с. Пихтовка $k_{yf} = 1,612$ при $Kr = 1,20 \cdot 10^{-2} \%$; $\mu_{mj,fen}$ – коэффициент водоотдачи торфяной залежи (в долях единицы) при изменении уровней болотных вод $Z_{mj,fw}$ (м); $\Delta W_{mj,fg}$ – водообмен между болотными и подземными водами (мм/мес); положительное значение $\Delta W_{mj,fg}$ свидетельствует о преобладании притока подземных вод в нижние слои болота по сравнению с фильтрацией болотных вод в подземные горизонты;

1.11) расчет коэффициентов влагопроводности торфяного грунта $k_{mj,fw}$ (м/сут) при допущении, что основной водный сток в пределах болот, согласно [Гидрологические расчеты при осушении..., 1963; Иванов, 1975; Sabokrouhiyeha et al., 2017], приурочен не ко всей торфяной залежи, а к ее верхней части – так называемому деятельному горизонту глубиной h_{apd} (м):

$$Q_{mj, fen} \approx k_{mj, fw} \cdot (h_{apd} - h_{mj, fw}) \cdot L_{Ff}, \quad (2.21)$$

$$k_{mj, fw} = \frac{Y_{mj, fen}}{N_m \cdot (h_{apd} - h_{mj, fw})} \cdot \sqrt{\frac{F_{fen}}{\pi}}, \quad (2.22)$$

где $Q_{mj, fen}$ и $Y_{mj, fen}$ – среднемесячный расход воды (м³/с) и месячный слой водного стока (мм/мес); $h_{mj, fw}$ – глубина болотных вод (м); глубина деятельного горизонта торфяной залежи принята в размере $h_{apd}=0,75$ м по данным наблюдений на скважине 106 Баксинского болота [Ресурсы поверхностных..., 1972] с учетом данных о распределении концентраций Fe и P в кислотных вытяжках из торфов Обского болота 26.11.2018 г. [Savichev et al., 2020; Иванова и др., 2020]; в последнем случае было установлено резкое изменение концентраций Fe и P на границе слоя 0,00–0,75 м, что с большой вероятностью связано с изменением окислительно-восстановительной обстановки вследствие сокращения поступления кислорода (рис. 2.5); $\pi=3,14...$; N_m – количестве суток в месяце; F_{fen} – площадь болот в пределах водосбора (км²); L_{Ff} – контур водного стока с болот, принят с учетом рекомендаций [Иванов, 1975] в размере половины длины окружности с приведенным радиусом $r_{Ff} = \sqrt{\frac{F_{fen}}{\pi}}$, то есть $L_{Ff} = \sqrt{F_{fen} \cdot \pi}$; в [Иванов, 1975] в уравнении (2.21) рассматривается коэффициент фильтрации $k_{mj, f0}$ (м/сут), но с учетом определенной сопоставимости деятельного горизонта торфяной залежи с зоной аэрации более корректно рассмотрение именно $k_{mj, fw}$, а не $k_{mj, f0}$; связь между $k_{mj, fw}$ и $k_{mj, f0}$ принята согласно [Лиштван и др., 1989; Simunek, van Genuchten, 2008] в виде:

$$k_{mj, fw} = k_{mj, f0} \cdot \exp\left(-k_{wp} \cdot (n_p - \varepsilon_{mj} - \omega_{mj})\right), \quad (2.23)$$

где k_{wp} – эмпирический коэффициент; n_p , ε_{mj} , ω_{mj} – пористость, льдистость и влага (%);

1.12) расчет коэффициента водоотдачи болота по уравнению (2.24) К.П. Лундина [Осушение..., 1985], водоотдачи из торфяной залежи $\mu_{mj, fen} \cdot \Delta Z_{mj, fw}$ и водообмена между болотными и подземными водами $\Delta W_{mj, fg}$ по уравнению (2.19):

$$\mu_{mj, fen} = 0,13 + 0,074 \cdot \lg k_{mj, fw}; \quad (2.24)$$

при отсутствии стока и исчезающе малых коэффициентах влагопроводности (с учетом применимости (2.24)) $\mu_{mj, fen}=0$;

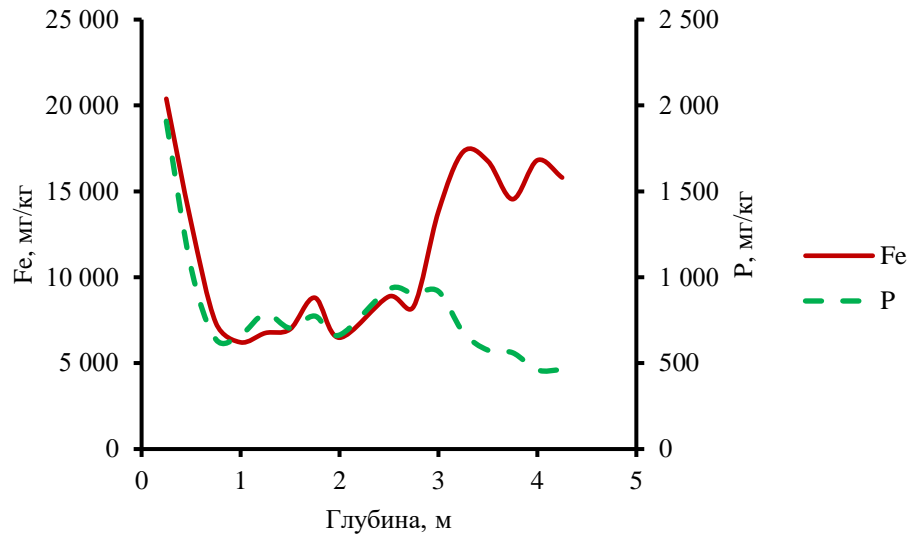


Рисунок 2.5 – Изменение концентраций Fe и P в кислотных вытяжках из торфов Обского болота у с. Нашеково 26.11.2018 г. (по данным [Savichev et al., 2020; Иванова и др., 2020])

1.13) расчет влаги в торфе ω_{mj} (%) по уравнению (2.23) при допущении, что льдистость торфа пропорциональна глубине его промерзания:

$$\varepsilon_{mj} = 100 \cdot \frac{k_{\varepsilon} \cdot \sqrt{|\sum T_{mj, < 0}|}}{h_{apd}}, \quad (2.25)$$

где k_{ε} – эмпирический коэффициент (принято $k_{\varepsilon} \approx 0,93$ по результатам измерения толщины промерзшего слоя торфа на Обском болоте в начале зимнего периода 2018–2019 гг.); $\sum T_{mj, < 0}$ – сумма отрицательных среднемесячных температур атмосферного воздуха за предшествующий период гидрологического года (с октября); пористость торфа n_p принята в размере 91 % для осоково-гипнового низинного торфа по данным [Емельянова, Крамаренко, 2001]; коэффициент фильтрации $k_{mj, f0}$ принят равным максимальному значению $k_{mj, fw}$; коэффициент k_{wp} определен подбором по условию (2.7); для водосбора реки Бакса у с. Пихтовка $|k_{wp}| = 2,641$ при $Kr = 7,24 \cdot 10^{-8}$ %; в случае $h_{apd} - h_{mj, fw} < 0$ величина ω_{mj} определена с учетом [Лиштван и др., 1989] по зависимости:

$$\omega_{mj} = \omega_a - 8 \cdot h_{mj, fw}, \quad (2.26)$$

где ω_a – среднее значение влаги, принятое как среднее значение для торфяных месторождений в водосборе реки Бакса [Инишева и др., 1995] в размере 79,2 %;

1.14) определение параметров модели слоя суммарного стока с водосбора р. Баксы при допущении (2.27), на основе которого получена зависимость вида (2.82):

$$\frac{dY}{dt} \approx k_H \cdot (H - E_{(+)} - Y), \quad (2.27)$$

$$Y_{mj} = (H_{mj} - E_{m(+j)}) + (Y_{[m-1]j} - (H_{mj} - E_{m(+j)})) \cdot \exp(-k_H \cdot \tau), \quad (2.28)$$

где $k_H \cdot \tau$ – произведение удельной скорости изменения стока на время добегаания водных масс [Руководство по гидрологическим..., 1989; Burakov et al., 2009], определяемое подбором при условии минимума функции $\frac{S}{\sigma}$; для водосбора р. Бакса у с. Пихтовка $k_H \cdot \tau = 0,525$ при $\frac{S}{\sigma} = 0,79$;

2) расчет водного баланса Обского болота с использованием параметров модели водного баланса Баксинского болота (2.4–2.28), в том числе:

2.1) оценка морфометрических характеристик водосбора Обского болота: площадь водосбора $F_b = 2100$ км²; заболоченность водосбора (с учетом не только Обского, но и других болот) $f_{jen} = 30$ %; лесистость $f_{frs} = 15$ %; расстояние от геометрического центра водосбора (56,787°с.ш., 84,168°в.д.) до г. Томска – 60 км, что, согласно [СП 131.13330.2020; СП 32.13330.2018], позволяет использовать в уравнении (2.1) данные только по метеостанции Томск;

2.2) расчет среднемноголетнего годового испарения по уравнению (2.8), месячного испарения с поверхности водосбора в холодный и теплый периоды по (2.5, 2.6), месячного испарения с поверхности болота в холодный и теплый периоды – по (2.5, 2.12), месячного эффективного увлажнения – по (2.14–2.17); получено для Обского болота: $E_{max,a} = 753,4$ мм/год; $E_{ya(M)} = 422$ мм/год;

2.3) подбор коэффициента k_{Yf} в (2.18) и расчет месячного слоя стока с болота и изменение влагозапасов в болоте по (2.19); для Обского болота $k_{Yf} = 1,048$ при $Kr = 9,17 \cdot 10^{-4}$;

2.4) расчет коэффициентов влагопроводности по (2.22), влаги в торфе – по (2.23, 2.26), коэффициентов водоотдачи торфа – по (2.24); для Обского болота $k_{wp} = 1,334$ при $Kr = 8,33 \cdot 10^{-8}$;

2.5) анализ полученных рядов слоев эффективного увлажнения, испарения, стока и изменений влагозапасов на однородность по критериям Фишера и Стьюдента (2.2, 2.3) при уровне значимости 5 %, расчет статистических параметров: среднего арифметического A , погрешности его определения δ_A (2.29); коэффициента вариации Cv ; коэффициента асимметрии Cs :

$$\delta_A \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (2.29)$$

где N – объем выборки; σ – среднее квадратическое отклонение;

3) расчет инфильтрационного питания подземных водоносных горизонтов в междуречье Обь–Шегарка и анализ взаимодействия речных, подземных и болотных вод с учетом результатов анализа водного баланса Баксинского и Обского болот:

3.1) расчет инфильтрационного питания I_b (мм/мес) по данным о среднемесячных уровнях воды р. Оби у с. Победа (расстояние от слияния рек Бия и Катунь $L_q = 928$ км; площадь

водосбора $F_b=264000 \text{ км}^2$ [Основные гидрологические..., 1979]) и р. Шегарки у с. Бабарыкино (р. Бакса – приток р. Шегарки; морфометрические характеристики водосбора р. Шегарки у с. Бабарыкино: длина реки от истока $L_q=205 \text{ км}$; площадь водосбора $F_b=8190 \text{ км}^2$; озерность $f_{fen}=1 \%$; заболоченность $f_{fen}=25 \%$; лесистость $f_{frs}=45 \%$; средняя высота водосбора $Z_b=130 \text{ м}$ [Ресурсы поверхностных..., 1972; Основные гидрологические..., 1979]), среднемесячных уровнях подземных вод в скважине 63р (водоносный комплекс в отложениях возраста $2aQ_{III}+P_3lt$) на окраине с. Мельниково [Горохова, Зятева, 2001; Лыготин, Савичев, макушин, 2010] по уравнению Дюпюи при допущении горизонтального залегания водоупора [Шестаков, 2009; Hendriks, 2010]:

$$I_b = k_{f0} \cdot k_m \cdot \left(\frac{z_g^2 - z_{rs}^2}{(L_{SO} - L_{Sg}) \cdot L_{Sg}} + \frac{z_{rs}^2 - z_{ro}^2}{(L_{SO} - L_{Sg}) \cdot L_{SO}} \right), \quad (2.30)$$

где k_{f0} – средневзвешенное значение коэффициента фильтрации (м/сут); k_m – коэффициент размерности (от м/сут к мм/мес); Z_g – уровень подземных вод у с. Мельниково (м); Z_{rs} – уровень воды в р. Шегарка у с. Бабарыкино (м); Z_{ro} – уровень воды в р. Оби у п. Победа (м); L_{SO} и L_{Sg} – расстояние между урезами воды в створах на рр. Оби и Шегарки и от р. Шегарки до с. Мельниково ($L_{SO}=34000 \text{ м}$); подбор k_{f0} выполнен по критерию вида (2.7) при допущении примерного равенства инфильтрационного питания и подземного стока р. Шегарки у с. Бабарыкино в среднем за многолетний период (1965–2000 гг.); оценка подземной составляющей $Y_{g,mj}$ месячного стока р. Шегарки Y_{mj} выполнена по уравнению:

$$Y_{g,mj} = \begin{cases} Y_{mj} & m = 1, 2, 3, 12 \\ Y_{3j} + (Y_{12j} - Y_{3j}) \cdot \frac{m-3}{12-3} & m = 4, \dots, 11 \end{cases}, \quad (2.31)$$

где m – номер месяца календарного года j (с января); слой суммарного водного стока р. Шегарки у с. Бабарыкино составляет $64,0 \text{ мм/год}$, его подземная составляющая – $10,4 \text{ мм/год}$ или $16,3 \%$ от суммарного стока; с учетом этого $k_{f0}=9,88 \text{ м/сут}$;

3.2) обобщение и анализ полученных данных, включая оценку изменения уровней подземных вод по схематическому разрезу долины р. Оби и статистический анализ с учетом требований [СП 33-1010-2003]; корреляционные связи принимались статистически значимыми (с уровнем значимости 5%) при соблюдении условий $|r| \geq \frac{2 \cdot (1-r^2)}{\sqrt{N-2}}$ и $|r| \geq 0,70$, а регрессионные – при условии $R^2 > 0,36$ и $|k_r| \geq \delta_k$, где r – коэффициент корреляции; k_r – коэффициент регрессии; δ_k – погрешность определения коэффициента регрессии; N – объем выборки; R^2 – квадрат корреляционного отношения (2.13); все вычисления выполнены в пакете MS Excel.

Основным объектом исследований на первом этапе являлось Обское болото в Томской области (с привлечением данных по Баксинскому болоту). Распространение выводов на водосбор

озера Поян выполнено по результатам анализа опубликованных работ, указанных при обзоре изученности.

Этап II. Анализ взаимосвязей между уровнями подземных вод и вод ветландов выполнен путем построения и апробации модели взаимодействия подземных вод и вод Обского болота (расширение выводов на водосбор озера Поян также выполнено по результатам изучения публикаций). При этом был использован подход, в соответствие с которым:

1) подземные и болотные воды образуют единый поток от водораздела в сторону реки Обь;

2) их водный режим можно рассматривать как цепь из стационарных состояний, каждое из которых соответствует месячному интервалу;

3) структура модели разрабатывается и апробируется для элементов месячного водного баланса в среднем за многолетний период (по имеющимся многолетним данным наблюдений на гидрогеологической (режимной) скважине 63р и реке Обь у п. Победа [Льготин, Савичев, Макушин, 2010]) и для периода с 18 марта по 16 октября 2021 с приблизительным выделением месячных интервалов (пересчет среднееголетних значений уровней подземных вод с поправкой на фактическое эффективное увлажнение);

4) внутри потока выделяются три характерных участка: L_1) суходол, прилегающий к границе Обского болота со стороны водораздела Обь – Иртыш; L_2) участок Обского болота; L_3) участок поймы реки Обь от границы Обского болота до уреза речных вод;

5) расход воды при установившемся движении в любой точки профиля оценивается по уравнениям (2.32, 2.33);

6) уровень болотных вод в месяц t на границе болота с водоразделом описывается (с учетом данных эпизодических наблюдений на исследуемом участке Обского болота) выражением (2.34), в точке перегиба кривой поверхности болота – (2.35), на границе болота с рекой Обь – (2.36), на участке L_1 – (2.37), на участке L_2 – (2.38), на участке L_3 – (2.39):

$$q_{x,t} = q_{1,t} + I_{f,t} \cdot x, \quad (2.32)$$

$$q_{1,t} = k_{f1} \cdot \frac{Z_{g0,t}^2 - Z_{f1,t}^2}{2 \cdot L_1} - I_{f,t} \cdot \frac{L_1}{2}, \quad (2.33)$$

$$Z_{f1,t} = (Z_{sf1} - \Delta Z_f) + (Z_{g0,t} - Z_{g0,a}), \quad (2.34)$$

$$Z_{f2,t} = (Z_{sf2} - \Delta Z_f) + X_{ef,t}, \quad (2.35)$$

$$Z_{f3,t} = \sqrt{Z_r^2 + \frac{2 \cdot L_3}{k_{f3}} \cdot (q_{1,t} + I_{f,t} \cdot x) + I_{f,t} \cdot \frac{L_3}{2}}, \quad (2.36)$$

$$Z_{1x,t} = \sqrt{Z_{g0,t}^2 - (Z_{g0,t}^2 - Z_{f1,t}^2) \cdot \frac{x_1}{L_1} + \frac{I_{f,t}}{k_{f1}} \cdot (L_1 - x_1) \cdot x_1}, \quad (2.37)$$

$$Z_{2x,t} = Z_{2(x-1),t} - (q_{1,t} + I_{f,t} \cdot x) \cdot \frac{\Delta x}{(k_{fg,xa,t} \cdot m_{g,xa,t} + k_{fip,xa,t} \cdot m_{ip,xa,t} + k_{fap,xa,t} \cdot m_{ap,xa,t})}, \quad (2.38)$$

$$Z_{3x,t} = \sqrt{Z_{f3,t}^2 - (Z_{f3,t}^2 - Z_{r,t}^2) \cdot \frac{x_3}{L_3} + \frac{I_{f,t}}{k_{f3}} \cdot (L_3 - x_3) \cdot x_3}, \quad (2.39)$$

где $I_{f,t}$ – скорость инфильтрации за месяц t , м/сут; для среднесноголетнего периода определена в работе [Савичев, Ян Хэн, 2021], а для периода с 18 марта по 16 октября 2021 г. – с приводкой по фактическому месячному эффективному увлажнению (с поправкой: если эффективное увлажнение в месяце t – отрицательное, то проводится перераспределение из месяца с предыдущим максимальным увлажнением на месяцы с отрицательными значениями так, чтобы минимум не был меньше нуля); $q_{x,t}$ – удельный расход воды за месяц t , м²/сут; $Z_{f1,t}$, $Z_{f2,t}$, $Z_{f3,t}$ – среднесноголетние уровни болотных вод в опорных точках в месяц t , м (в Балтийской системе высот); $Z_{1x,t}$, $Z_{2x,t}$, $Z_{3x,t}$ – среднесноголетние уровни подземных и болотных вод между опорными точками в месяц t , м (в Балтийской системе высот); x , x_1 , x_3 – расстояние от условного начала или соответствующего участка, м; L , L_1 , L_2 , L_3 – общая длина и длина каждого из участков, м; Δx – длина приращения между расчетными точками по профилю, м.

Начало первого участка принято по условной линии, проходящей через гидрогеологическую скважину 63р у с. Мельниково параллельно реке Обь (нулевая отметка в условном поперечном профиле долины реки Обь), до отметки 1500 м (граница болота). Второй участок расположен между отметками 1500 и 4730 м, третий – между 4730 и 4800 м (4800 м – расстояние до среднесноголетнего уреза реки Обь). Опорные точки на болоте соответствуют отметкам 1500 и 1686 м от условного начала. На первом участке средневзвешенный коэффициент фильтрации водоносного горизонта составляет 9,97 м/сут, на третьем – 10,6 м/сут. В пределах болота общий водоносный горизонт рассматривался как три взаимосвязанных (в разной степени) горизонта: 1) водоносные отложения, сложенные минеральными грунтами (средневзвешенный коэффициент фильтрации 10,72 м/сут); 2) инертный горизонт торфяной залежи (средневзвешенный коэффициент фильтрации в зависимости от типа торфов по данным [Емельянова, Крамаренко, 2001]); 3) деятельный горизонт торфяной залежи (средневзвешенные коэффициенты фильтрации подбираются средствами MS Excel с использованием метода общего понижающего градиента) с целевой функцией в виде модификации критерия Нэша – Сатклифа [Nash, Sutcliffe, 1970]:

$$K_d = \frac{s}{\sigma} = \sqrt{1 - R^2} = \sqrt{\frac{\sum(y_{o,i} - y_{s,i})^2}{\sum(y_{o,i} - y_{oa})^2}}, \quad (2.40)$$

где R^2 – квадрат корреляционного отношения; $y_{o,i}$ и $y_{s,i}$ – измеренные и расчетные значения характеристики y ; y_{oa} – среднее арифметическое измеренных значений.

Этап III. На третьем этапе отдельно для болот и подземных вод Томской области и ветландов в водосборе озера Поян было выполнено обобщение гидрогеохимических данных из разных источников при условии использования одних и тех же или сопоставимых методов определения. В случае болот и подземных вод в Томской области использованы преимущественно материалы аккредитованных гидрогеохимических лабораторий АО «Томскгеомониторинг» и ТПУ: рН, F^- – потенциометрический; удельная электропроводность – кондуктометрический; Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , CO_2 , перманганатная (ПО) и бихроматная (БО) окисляемость – титриметрический; SO_4^{2-} – турбидиметрический; Na^+ , K^+ – атомно-абсорбционный; NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , фосфаты, Si – фотометрический [Савичев, 2015; Savichev et al., 2019, 2020; Савичев и др., 2022]. По водосбору озера Поян в расчётах использованы данные, полученные в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории ТПУ [Soldatova et al., 2022].

В отложениях ветландов (включая торфа) и подстилающих ветланды минеральных грунтах (а также в донных отложениях рек) выполнялась подготовка водных (в водосборе озера Поян и болотах в Сибири) и кислотных вытяжек (только в болотах Сибири) по методикам, изложенным в [Савичев и др., 2018; Savichev et al., 2020]. Здесь лишь отметим, что в первом случае пробы торфа высушивались до воздушно-сухого состояния и растирались в фарфоровой ступке. Затем навеска (50–100 г) с добавлением деионизированной воды (соотношение субстрата и воды 1:10) перемешивалась в круглодонной колбе в течение 3 мин, после чего проводилось центрифугирование в течение 5 мин. В подготовленных таким образом пробах выполнялось определение рН и удельной электропроводности EC . Для анализа кислотных вытяжек (с использованием масс-спектрометрического метода с индуктивно связанной плазмой) навеска пробы (0,2–0,5 г) помещалась в полиэтиленовую пробирку с добавлением 3 мл азотной кислоты, а затем в микроволновую печь (на 10 мин без закипания раствора) с последующим доведением объема деионизированной водой до 50 мл [Савичев и др., 2018; Savichev et al., 2020].

Статистический анализ гидрогеохимической информации включал расчет средних арифметических значений A и погрешностей их определения δ_A (2.29), проверку выборок гидрогеохимических данных (подземные воды отложений четвертичного, палеогенового, мелового и карбонового возрастов, болотные воды в деятельном горизонте торфяной залежи) на однородность по среднему с использованием критерия Стьюдента t_f (2.41) и по дисперсии – по критерию Фишера F_f (2.42) с уровнем значимости 5 %:

$$t_f = \frac{|A_x - A_y|}{\sqrt{N_x \cdot \sigma_x^2 + N_y \cdot \sigma_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{N_x \cdot N_y \cdot (N_x + N_y - 2)}{N_x + N_y}}, \quad (2.41)$$

$$F_f = \frac{\max(\sigma_x^2; \sigma_y^2)}{\min(\sigma_x^2; \sigma_y^2)}, \quad (2.42)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение; N – объем выборки; индексы «x» и «y» соответствуют сравниваемым выборкам [Пособие..., 1984]. Нулевая гипотеза об однородности сравниваемых выборок не отвергается (с уровнем значимости 5%), если отношения фактических и критических значений t_f/t_5 и F_f/F_5 (в обоих случаях) меньше единицы.

Дополнительно к сравнению гидрогеохимических показателей подземных и болотных вод проведен визуальный анализ изменения рН и удельной электропроводности EC водных вытяжек и химического состава кислотных вытяжек из торфов и подстилающих грунтов в зависимости от относительной глубины h_i/h_p , где h_i – глубина отбора пробы в интервале 0,25 м, h_p – глубина торфяной залежи (значения $h_i/h_p > 1$ соответствуют пробам органо-минеральных отложений (ОМО) или минеральных грунтов).

Этап IV. В рамках изучения влияния загрязнения ветландов на состояние подземных вод проводились:

1) комплекс работ по изучению реакции ветландов в водосборе озера Поян, включая: 1.1) отбор проб (совместно с Чжоу Дань) подземных вод (рис. 2.3; пункты р01, р02, р05 – 20.10.2022 г.; пункт р99 – 20.10.2022 г.), вод и отложений ветландов в октябре 2022 г. (20.10.2022 г.; неиспользуемые ветланды – р03, р04; рисовое поле – р06); 1.2) определение химического состава воды и водных вытяжек из отложений (лабораторные работы выполнены в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории ТПУ; методика работ изложена выше при описании методики этапа III); 1.3) разработка и апробация математической модели взаимодействия вод и отложений ветландов, исходя из предложений, изложенных в [Savichev et al., 2018; Савичев, 2021; Савичев, Чжоу, 2021; Савичев, Ян, Чжоу, 2022], в виде системы уравнений (2.43–2.49):

$$\frac{dC}{dt} = k_{p,1} \cdot (k_{p,2} \cdot C_{eq} - C) + k_s \cdot (S - k_c \cdot C), \quad (2.43)$$

$$k_c = k_m \cdot (S_m - S), \quad (2.44)$$

$$S_m = S_{m,0} \cdot pH^{n_{pH}}, \quad (2.45)$$

$$k_{p,1} = k_{p,0} \cdot d_{10}^{n_{kp}}, \quad (2.46)$$

$$k_r = k_{p,1} + k_s \cdot k_m \cdot (S_m - S), \quad (2.47)$$

$$C_x = C_e + (C_0 - C_e) \cdot \exp(-k_r \cdot t), \quad (2.48)$$

$$C_e = \frac{k_{p,1} \cdot k_{p,2} \cdot C_{eq} + k_s \cdot S}{k_r}, \quad (2.49)$$

где C и S – концентрация исследуемого вещества в воде и отложениях в момент t ; C_e и S_e – концентрации вещества в (2.43) при $\frac{dC}{dt} = 0$; C_0 – концентрация в воде в момент $t=0$; C_{eq} – равновесная концентрация в воде (принята как среднее геометрическое с учётом данных, полученных ранее Е.А. Солдатовой с соавторами [Soldatova et al., 2021, 2022]); S_m – максимальная

сорбционная способность отложений; S_{m0} , k_m , k_c , k_s , $k_{p,1}$, $k_{p,2}$, k_r , n_{pH} , n_{kp} – коэффициенты. Более подробная информация приведена в [Савичев, Чжоу, 2021; Савичев, Ян, Чжоу, 2022]; 1.4) сопоставление полученных результатов с опубликованными материалами других авторов (как по водосбору озера Поян, так и по Сибири).

2) эксперимент на Обском болоте в Томской области Российской Федерации, направленный на изучение способности болот региона к самовосстановлению, в целом, и к их самоочищению от загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами, в частности.

Этот эксперимент является частью исследований болотных экосистем, которые выполняются в ТПУ в течение многих лет [Савичев, Мазуров, 2018]. В рамках этих исследований ранее рассмотрены условия использования болот в составе природно-техногенных систем очистки стоков, анализируются пространственно-временные изменения гидрологических и геохимических условий функционирования болот и возможные изменения состояния болот при разработке месторождений осадочных железных руд и сброса стоков на основе математического моделирования гидрогеохимических процессов. В том числе, с 2002 г. выполняются работы по изучению условий формирования химического состава болотных вод и торфов Обского болота, расположенного в левобережной части долины р. Оби (преимущественно, на первой надпойменной террасе) на участке сел Нащеково (фоновый участок) и Мельниково (участок многолетнего сброса хозяйственно-бытовых сточных вод) в Томской области [Савичев и др., 2013; Иванова и др., 2020; Savichev et al., 2020; Савичев и др., 2022].

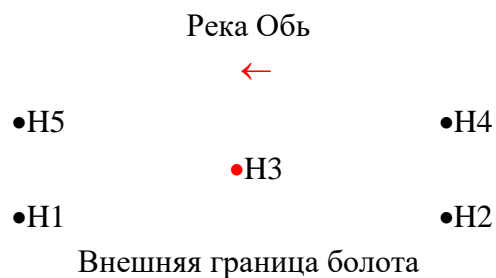
Основная цель эксперимента – изучение условий распространения в болотной среде загрязняющих веществ (после выпуска на поверхность болота 50 л раствора NaCl с концентрацией 20 г/дм³) и самоочищения евтрофной болотной экосистемы в результате смешения болотных, подземных и сточных вод. Задачи исследования: 1) уточнение химического состава болотных вод на фоновом и загрязненном участках; 2) сопоставление геохимических показателей болотных и подземных вод (потенциально и фактически гидравлически связанных); 3) проведение эксперимента по изменению химического состава болотных вод и водных вытяжек из торфов на участке 100×100 м в течение марта – октября 2021 г. [Савичев и др., 2022; Савичев, Ян, Чжоу, 2022].

18 марта 2021 г. на фоновом участке Обского болота у с. Нащеково было пробурено пять скважин (рис. 2.2, 2.6), в которых отобраны пробы болотных вод из деятельного горизонта торфяной залежи, а затем – пробы торфа и минеральных отложений поинтервально (через 0,25 м) по всей глубине торфяной залежи до минерального грунта включительно. Четыре скважины (Н1: 56°30,905' с.ш., 84°1,571' в.д.; Н2: 56°30,864' с.ш., 84°1,504' в.д.; Н4: 56°30,822' с.ш.,

84°1,564'в.д.; Н5: 56°30,858' с.ш., 84°1,630'в.д.) расположены в вершинах квадрата со стороной 100 м, а пятая (Н3: 56°30,861' с.ш., 84°1,565'в.д.) – в его центре (рис. 2.6). После отбора проб воды и торфов 19 марта в 0,5 м от скважины Н3 на поверхность болота было вылито 50 л раствора NaCl (20 г/дм³).



a)



b)

Рисунок 2.6 – Снимок (a, Google Earth) и схема расположения скважин (b) на Обском болоте у с. Нащекново в левобережной части долины р. Обь при проведении эксперимента; «←» – направление течения в р. Обь и снижения высотных отметок Обского болота [Савичев и др., 2022] (основа – снимок Google Earth)

16 октября 2021 г. в этих же скважинах и в той же последовательности отобраны пробы болотной воды (из деятельного горизонта), торфа и минеральных отложений. Также 18.03.2021 г. и 16.10.2021 г. в трех километрах от скважин Н1–Н5 на Обском болоте в марте и октябре 2021 г. на окраине с. Нащекново были отобраны пробы подземной воды П (56°31,842' с.ш., 84°4,013'в.д.), а 19.03.2021 г. в с. Мельниково вдоль дороги «Мельниково – Старая Шегарка» – две пробы болотных вод М1 (56°33,126' с.ш., 84°6,384'в.д., в 0,70 км от суходола и 0,92 км от выпуска стоков по прямой) и М2 (56°33,179' с.ш., 84°5,958'в.д., в 0,25 км от суходола и 0,62 км от выпуска стоков) на загрязненном участке Обского болота [Савичев и др., 2022; Савичев, Ян, Чжоу, 2022]. Отбор проб торфов, болотных и подземных вод выполнен с учетом требований [ГОСТ 17644-83; Требования... 2002; Weight, 2008; Manual..., 2010].

В пробах болотных, подземных и сточных вод в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории ТПУ определялись значения рН (потенциометрический метод), удельная электропроводность *ЕС* (кондуктометрический), бихроматная окисляемость *ВО*

(флуориметрический), перманганатная окисляемость PO , валовые содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , CO_2 (титриметрический), SO_4^{2-} (турбидиметрический), NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- (фотометрический), Na^+ , K^+ (пламенно-эмиссионная спектрометрия), Fe и более 30 микроэлементов (масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой МС-ИСП с использованием масс-спектрометра NexION 300D). В водных вытяжках из предварительно высушенных проб торфов и минеральных грунтов определялись значения pH (потенциометрический метод) и ЕС (кондуктометрический), концентрации Na^+ (пламенно-эмиссионная спектрометрия) и Cl^- (ионная хроматография). При этом пробоподготовка включала в себя доведение проб до воздушно-сухого состояния, растирание в фарфоровой ступке, перемешивание в круглодонной колбе в течение трех минут навески 50–100 г с добавлением деионизированной воды, центрифугирование в течение пяти минут [Савичев и др., 2022; Савичев, Ян, Чжоу, 2022].

Сравнение данных проводилось путем вычисления и анализа относительного изменения величины $\delta(X)$ для значений pH, ЕС, концентраций Na^+ и Cl^- в каждом интервале глубин по уравнению (2.50), проверки с уровнем значимости 5 % на однородность по дисперсии и среднему (в водных вытяжках из торфов) с использованием критериев Фишера K_F и Стьюдента K_S , а также критерия (2.50).

$$\delta(X) = 100 \cdot \frac{X_{i,t_2} - X_{i,t_1}}{X_{i,t_1}}, \quad (2.50)$$

где X_{i,t_1} и X_{i,t_2} – значения показателя X , полученные в сроки t_1 (18.03.2021) и t_2 (16.10.2021) в скважине i . В процессе анализа полученных данных также проводился корреляционный и регрессионный анализ с учетом требований [СП 33-101-2003]. В общем случае связи между сравниваемыми показателями принимались статистически значимыми (с уровнем значимости 5 %) при условии, что коэффициенты корреляции r по модулю больше 0,70, квадрат корреляционного отношения R^2 более 0,36, коэффициенты корреляции и регрессии больше удвоенной погрешности их определения [Савичев и др., 2022; Савичев, Ян, Чжоу, 2022].



Фото 1 – Отбор проб на участке Обского болота, 19.03.2021 г.



Фото 2 – Отбор проб на участке Обского болота, 19.03.2021 г.



Фото 3 – Проведение полевых работ на приозерных территориях (Поян) в октябре 2022 г.

3. Условия формирования подземных вод и вод ветландов в районе Обского болота и в водосборе озера Поян

3.1. Обское болото и прилегающие территории (РФ)

3.1.1. Административное и географическое положение

Обское болото расположено в административном отношении в южной части Томской области (исследуемый участок – в Шегарском административном районе), в Сибирском федеральном округе Российской Федерации (рис. 2.2), в географическом отношении – в левобережной части долины р. Оби (преимущественно – на первой надпойменной террасе), на границе участков её верхнего и среднего течения, одновременно – и на границе зон лесостепи и тайги (подзоны южной тайги) умеренного пояса [Пособие..., 1984; Национальный атлас..., 2007].

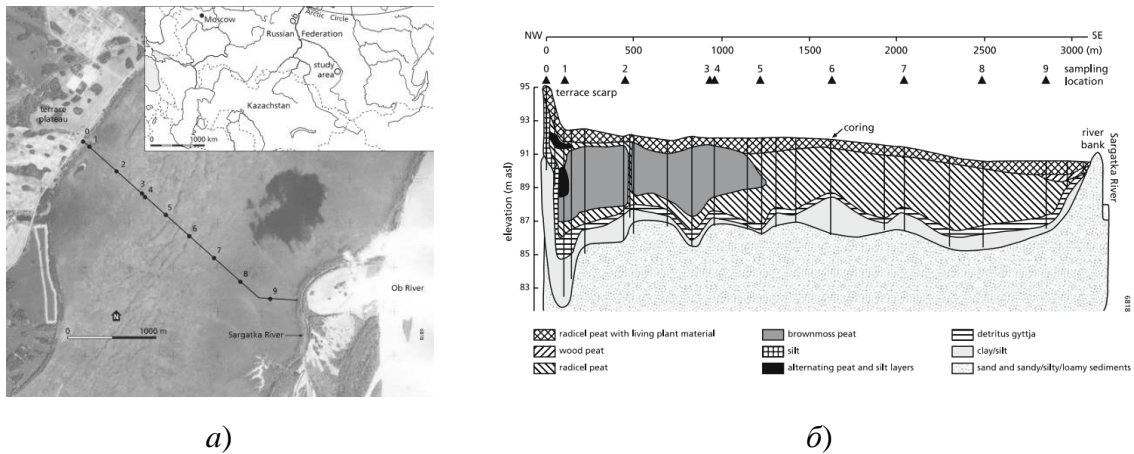


Рис. 3.1.1.1 – Поперечный разрез торфяной залежи и его положение в районе размещения исследуемого участка Обского болота (примерно в 1 км выше по течению р. Обь от участка проведения эксперимента) [Schipper et al., 2007]

Обское болото имеет протяжённость около 104 км и ширину от 1,5 до 7 км; мощность (толщина) тофряной залежи – около 3,2 м с максимумами чуть больше 6 м; по условиям водно-минерального питания – евтрофное, тип торфяной залежи – низинный, торфа – низинные, со степенью разложения 34 % и зольностью 28–29 % [Карта торфяных..., 2000; Shipper et al., 2007; Савичев и др., 2013; Savichev et al., 2020; Иванова и др., 2020]. Обское болото, согласно Ю.А. Львову [Львов, 1991], относится к Обь-Иртышскому пойменному болотному округу, к Кожевниковскому району низинных гипновых и осоково-гипновых притеррасных болот; по [Карта торфяных месторождений..., 2000] – к Обскому району торфонакопления, а в

соответствии с [Лисс и др., 2001] – к подтаежной болотной провинции западносибирских атлантических евтрофных осоково-гипновых болот. Общая картина распространения болот разных типов на территории Томской области приведена на рис. 2.4.

3.1.2. Климатические условия

Согласно [СП 131.13330.2020], место размещения проектируемых объектов расположено в пределах климатического района 1В (средняя январская температура воздуха в диапазоне -14...-28°C; средняя июльская температура воздуха в диапазоне +12...+21°C; средняя месячная влажность воздуха в июле – более 75%), согласно [Национальный атлас..., 2005], – в пределах умеренного пояса, в континентальной Западно-Сибирской области.

Среднее годовое значение температуры воздуха по данным метеостанции Томск составляет +0,6°C (табл. 3.1.2.1). Минимальные значения температуры воздуха наблюдаются обычно в январе, максимальные – в июле. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 559 мм/год, из них 31 % (180 мм) выпадает в ноябре – марте, когда обычно наблюдаются отрицательные значения температуры воздуха. Суточный максимум осадков (за апрель – октябрь) составляет 81 мм.

Таблица 3.1.2.1 – Характерные значения температуры воздуха и парциального давления водяного пара на метеостанции Томск [СП 131.13330.2020]

| Период | Температура воздуха, °С | Парцильное давление водяного пара, гПа |
|----------------|-------------------------|--|
| Январь | -18,1 | 1,5 |
| Февраль | -15,7 | 1,7 |
| Март | -7,3 | 2,8 |
| Апрель | 1,7 | 4,6 |
| Май | 9,6 | 7,2 |
| Июнь | 16,2 | 12,5 |
| Июль | 18,7 | 15,8 |
| Август | 15,4 | 13,6 |
| Сентябрь | 9,1 | 9,1 |
| Октябрь | 1,4 | 5,5 |
| Ноябрь | -8,5 | 3,1 |
| Декабрь | -15,2 | 2,0 |
| В целом за год | 0,6 | 6,6 |

3.1.3. Геоморфологические и геологические условия

Собственно Обское болото, как было указано выше, расположено в леобережной части р. Обь. Если говорить о его водосборе (территории, в пределах которой формируются

поверхностные и подземные воды, поступающие со стороны междуречья Оби и Шегарки), то по классификации В.Т. Трофимова (приводится по [Ресурсы пресных..., 1991]) водосборная территория Обского болота находится в северной части Барабинско-Пихтовской наклонной приподнятой равнины, на границе с Васюганской возвышенностью и Обь-Тымской низменностью. В целом (с учётом данных [Национальный..., 2005]), рельеф может быть охарактеризован как равнинный (с учётом высотных отметок 70–130 м и требований [СП 33-101-2003. П.7.7; Рычагов, 2006], согласно которым рельеф рассматривается как равнинный при амплитуде высот в пределах водосбора менее 200 м, а при абсолютных значениях отметок до 200 м соответствует низменности).

По геологическому строению территория расположена в юго – юго-восточной части Западно-Сибирской плиты на границе с Алтае-Саянским складчатым поясом. В вертикальном разрезе в пределах рассматриваемой территории выделяются: 1) складчатый фундамент, сложенный метаморфизованными породами палеозоя; 2) осадочный чехол из песчано-глинистых отложений мезокайнозоя, мощность которого возрастает с юга (юго-востока) на север (северо-запад) [Гидрогеология СССР..., 1970; Ресурсы пресных..., 1991; Состояние геологической..., 2001, 2015].

3.1.4. Гидрологические условия

Поскольку Обское болото – долинное, то его водный режим в той или иной мере не может не зависеть от водного режима Оби, сток которой зарегулирован Новосибирским гидроузлом, расположенным выше по течению. За 1965–2007 гг. средний уровень воды р. Обь в створе поста Победа (площадь бассейна 264 000км²; расстояние от слияния рек Бия и Катунь – 928 км) составляет 72,61 м в Балтийской системе высот, принятой в РФ, максимум – 77,61 м, минимум – 71,19 м; среднемноголетний расход воды в створе Новосибирской ГЭС (за 1958 – 2004 гг.; площадь бассейна 252 000км²; расстояние от слияния рек Бия и Катунь – 687 км) – 1566 м³/с [Савичев, 2010]. Информация о водном стоке притоков Оби, расположенных в районе исследования, приведена в табл. 3.1.4.1, а данные о характере затопления поймы Оби – на рис. 3.1.4.1.

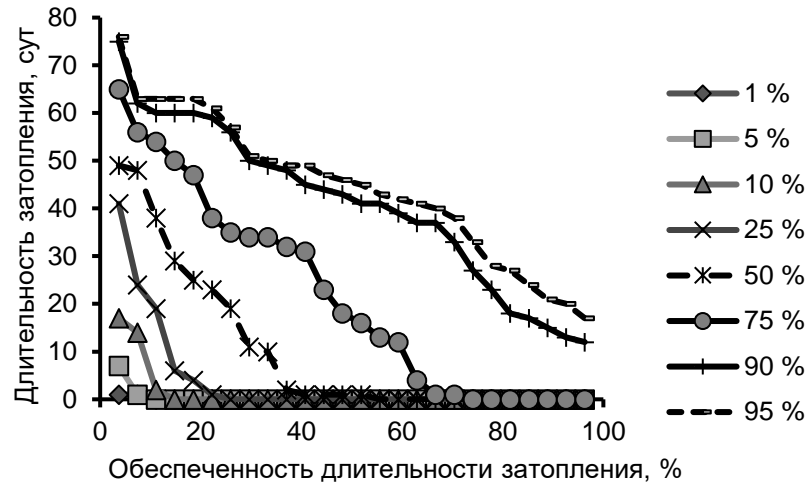


Рис. 3.1.4.1 – Эмпирические кривые обеспеченности продолжительности затопления поймы р. Оби у г. Колпашево за период 1958–2002 гг. [Савичев, 2010]

Гидрологические сезоны водосборной территории Обского болота, согласно [Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при отсутствии..., 2009], следующие: весенний – с апреля по июнь; летне-осенний – с июля по ноябрь; зимний – с декабря по март.

Главной фазой водного режима рек рассматриваемой территории является весенне-летнее половодье. В летне-осенний период наблюдаются дождевые паводки, которые иногда могут накладываться на спад половодья, увеличивая его продолжительность и объем [Ресурсы поверхностных...т.15..., 1973].

Таблица 3.1.4.1 – Характерные расходы воды р. Обь и её притоков на территории Томской области за многолетний период [Савичев, 2010]

| Река – пункт | Период наблюдений, использованных для расчёта | Норма стока, м ³ /с | Максимальный расход | | Минимальный расход открытого русла | | Минимальный расход ледостава | |
|----------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| | | | расход воды, м ³ /с | дата наблюдения | расход воды, м ³ /с | дата наблюдения | расход воды, м ³ /с | дата наблюдения |
| Обь – г. Новосибирск – ГЭС | 1958–2004 | 1566 | 9670 | 03.05.1958 | – | – | 201 | 29.12.1963 |
| Обь – с. Колпашево | 1915–2007 | 3920 | 29800 | 15.05.1941 | 1490 | 22.10.1989 | 522 | 30.03–03.04.1932 |
| Томь – г. Томск | 1918–70, 72–2007 | 1130 | 13600 | 13.05.1930; 14.05.1937 | 117 | 13–14.08.1974 | 52,6 | 22.11.1934 |
| Чая – с. Подгорное | 1933–39, 46, 47, 53–2007 | 78,7 | 1150 | 27.05.1998 | 12,3 | 22.10.1968 | 12,5 | 16.03.1968 |
| Бакчар – с. Польшнянка | 1974–2003 | 5,1 | 128 | 15.05.1998 | 0,027 | 17.07.1990 | 0,012 | 14–17.03.1985 |
| Бакчар – с. Гореловка | 1959–1985 | 17,9 | 314 | 18.05.1979 | 2,76 | 29.06–01.07.1982 | 1,65 | 15–19.02.1980 |
| Ключ – с. Польшнянка | 1973–77, 78–96 | 0,18 | 8,03 | 18.04.1973 | нет | – | нет | – |
| Икса – с. Плотниково | 1933–44, 47–58, 60–2007 | 7,18 | 242 | 16–17.05.1998 | 0,082 | 12.07.1955 | 0,077 | 28.01–09.02.1962 |
| Шегарка – с. Бабарыкино | 1953–2003 | 17,3 | 468 | 23–24.04.1973 | 0,77 | 18.10.1955 | 0,55 | 27–29.11.1955 |

В соответствии с классификацией П.С. Кузина [Кузин, Бабкин, 1979], эта территория расположена в Иртышско-Енисейском гидрологическом районе (на границе с Чумышским гидрологическим районом), для рек которого характерны весенне-летнее половодье с максимумами в начале июня, летние и осенние паводки, продолжительная межень и устойчивый ледостав средней продолжительности.

3.1.5. Гидрогеологические условия

В геологическом отношении рассматриваемая территория соответствует границе Западно-Сибирской плиты и Западно-Байкальской палеозойской складчатой системы. В их пределах выделяются гидрогеологические структуры I порядка: Западно-Сибирский артезианский бассейн (ЗСАБ) и Саяно-Алтайская гидрогеологическая складчатая область (САГСО). Породы, слагающие гидрогеологические подразделения, характеризуются разнообразием генезиса, возраста (от протерозоя до современного отдела), литологического состава и интенсивной дислоцированностью в пределах горноскладчатых областей. В зависимости от условий циркуляции вод в водовмещающих горных породах, в них выделены поровые и трещинные, в зависимости от условий залегания – верховодка, грунтовые, артезианские.

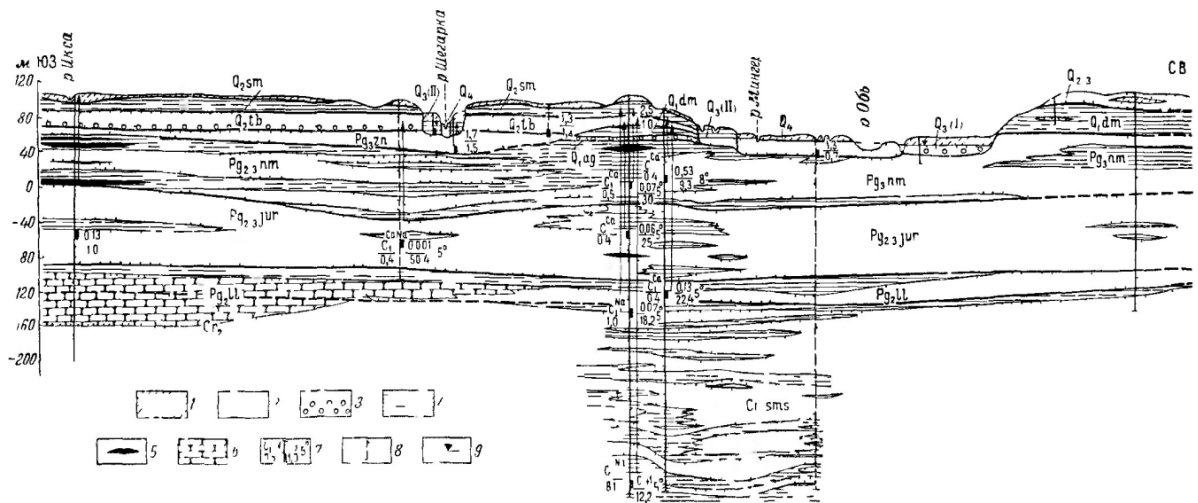


Рисунок 3.1.5.2 – Схематичный гидрогеологический разрез междуречий Икса – Шегарка – Обь [Гидрогеология СССР..., 1970]: 1 – суглинки; 2 – пески; 3 – пески с гравием и галькой; 4 – глины; 5 – лигниты, бурые угли; 6 – песчаники; 7 – скважина, интервал опробования, стрелка – напор подземных вод слева в числителе – тип воды, по О.А. Алекину, в знаменателе – минерализация воды, г/л справа в числителе – удельный дебит, л/с, в знаменателе – понижение, м, сбоку – температура воды, °C; 8 – скважина, спроектированная на линию разреза; 9 – уровень грунтовых вод

В разрезе Западно-Сибирского артезианского бассейна отчетливо выделяется складчатый фундамент, сложенный породами доюрского возраста, и чехол, образованный платформенными

полого залегающими терригенными осадками мезозоя и кайнозоя. В разрезе мезозойско-кайнозойских отложений бассейна выделяются два гидрогеологических этажа с резко различными условиями формирования подземных вод, разделенные мощным региональным водоупором верхнемелового-палеогенового возраста, который выклинивается в краевой зоне бассейна. Верхний гидрогеологический этаж представляет собой многослойную фациально изменчивую толщу, включающую более 30 водоносных горизонтов, приуроченных к палеогеновым, неогеновым и четвертичным отложениям. Он характеризуется, в целом, свободным водообменом, интенсивность которого с глубиной снижается и в нижней части этажа водообмен становится затрудненным. Воды верхнего этажа преимущественно пресные, реже слабосоленоватые. Питание подземных вод осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков на приподнятых участках междуречных пространств и склонах речных долин. Зоны разгрузки бассейнов стока приурочены к руслам рек и прилегающим к руслу пойменным и низким надпойменным террасам. Гидрогеологические подразделения верхнего этажа отличаются по характеру обводненности пород, водопроницаемости, минерализации [Гидрогеология СССР, 1970; Ресурсы пресных..., 1991; Состояние геологической..., 2001].

Непосредственно в районе расположения Обского болота и на прилегающих территориях верхний этаж представляет собой толщу отложений четвертичного, неогенового, палеогенового и мелового возраста, к которым приурочены безнапорные и напорные подземные воды (рис. 3.1.5.2).

3.1.6. Хозяйственная деятельность

В районе с. Мельниково (административный центр Шегарского района Томской области) в Обское болото в течение многих лет осуществляется выпуск сточных вод жилищно-коммунального хозяйства (рис. 3.1.6.1).

Химический состав сточных вод, участка Обского болота в районе выпуска стоков в с. Мельниково и на фоновом участке у с. Нащеково по состоянию на 2013 г. приведены в табл. 3.1.6.1.

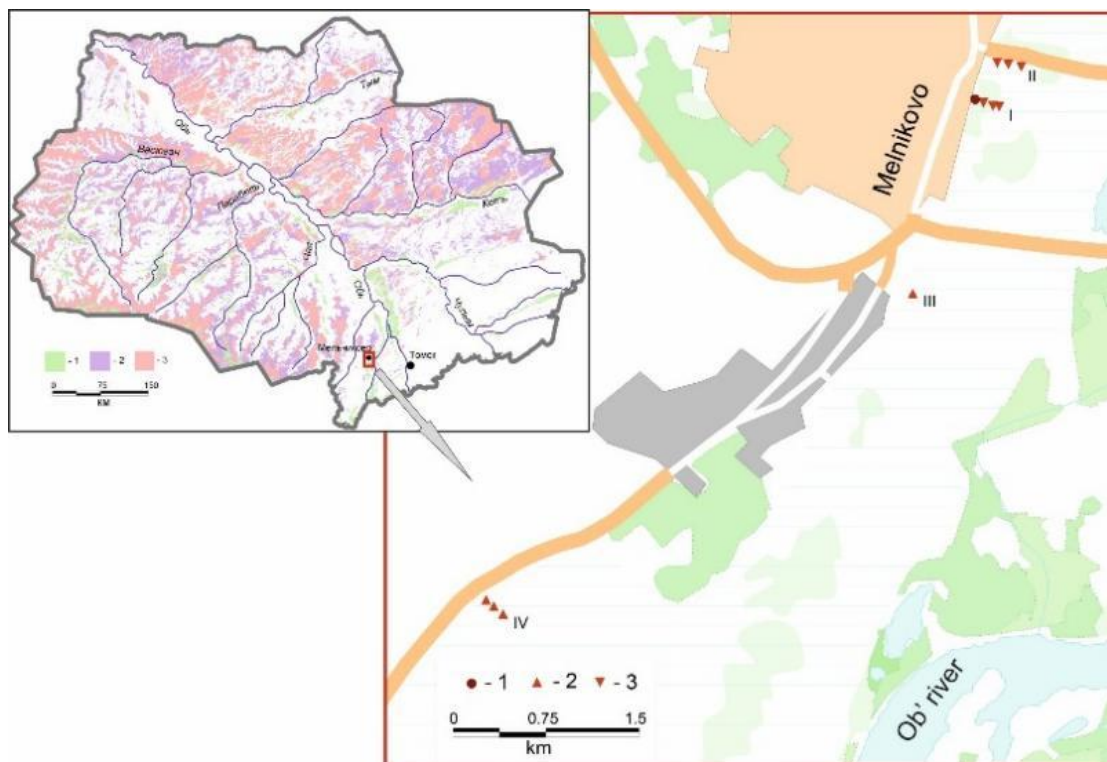


Рис. 3.1.6.1 – Схема размещения пунктов наблюдений за химическим составом вод Обского болота у с. Мельниково: 1 – сточные воды МУП «Комхоз» с. Мельниково; 2 – фоновый участок; 3 – участок загрязнённого болота [Иванова и др., 2020]

Таблица 3.1.6.1. Средние многолетние значения физико-химических и гидрохимических показателей болотных и речных вод у с. Мельниково, подземных вод в южном Приобье Томской области [Савичев и др., 2013]

| Показатель | Ед. изм. | Обское болото, участки | | Стоки с. Мельниково | р. Обь, п. Победа | Подземные воды (палеогеновый горизонт) |
|------------------|--------------------|------------------------|--------------|---------------------|-------------------|--|
| | | незагрязнённые | загрязнённые | | | |
| pH | ед. pH | 7,24 | 7,41 | 7,71 | 7,97 | 7,31 |
| Σ_{mi} | мг/дм ³ | 552,9 | 1198,5 | 1372,8 | 185,0 | 638,2 |
| Ca ²⁺ | мг/дм ³ | 94,0 | 118,3 | 106,8 | 32,8 | 89,9 |
| Mg ²⁺ | мг/дм ³ | 18,3 | 30,0 | 40,3 | 6,2 | 20,6 |
| Na ⁺ | мг/дм ³ | 18,0 | 107,3 | 72,7 | 6,7 | 44,7 |
| K ⁺ | мг/дм ³ | 2,6 | 10,5 | 7,0 | 1,1 | 1,9 |
| Cl ⁻ | мг/дм ³ | 8,3 | 140,4 | 125,7 | 3,3 | 18,8 |

Продолжение таблицы 3.1.6.1.

| | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|---------|-------|
| SO ₄ ²⁻ | мг/дм ³ | 1,6 | 20,8 | 20,4 | 13,5 | 6,2 |
| NH ₄ ⁺ | мг/дм ³ | 3,01 | 45,26 | 66,11 | 0,26 | 0,57 |
| NO ₂ ⁻ | мг/дм ³ | 0,014 | 0,144 | 0,011 | 0,022 | 0,022 |
| NO ₃ ⁻ | мг/дм ³ | 0,40 | 2,95 | 0,45 | 0,75 | 0,624 |
| PO ₄ ³⁻ | мг/дм ³ | 0,15 | 18,89 | 15,22 | 0,04 | 0,315 |
| БО | мгО/ дм ³ | 99,6 | 306,2 | 332,6 | 12,0 | <4,0 |
| ПО | мгО/ дм ³ | 25,93 | 15,77 | 31,30 | 3,85 | 2,17 |
| Fe | мг/дм ³ | 0,616 | 3,036 | 4,120 | 0,326 | 1,990 |
| Cu | мкг/дм ³ | 1,0 | 1,5 | 3,4 | 7,0 | 7,7 |
| Zn | мкг/дм ³ | 2,3 | 12,7 | 30,0 | 1,9 | 24,3 |
| Pb | мкг/дм ³ | 0,4 | 0,7 | 0,9 | 0,4 | 0,8 |
| <i>N</i> | – | 3...4 | 12 | 4 | 15...22 | 6...9 |

Примечание: *N* – количество проб

3.2. Водосбор озера Поян (КНР)

3.2.1. Административное и географическое положение

Водосбор озера Поян (рис. 3.2.1.1) – одного из крупнейших пресноводных озёр в мире, в целом, и Восточной Азии, в частности, – расположен на границе участков среднего и нижнего течения реки Янцзы (в южной части этой территории), а в административном отношении – на юго-востоке Китайской народной республики, в пределах провинций Цзянси. Крупнейший приток озера Поян – река Ганьцзян (Ган; рис. 3.2.1.1).



Рисунок 3.2.1.1 – Схема расположения водосбора озера Поян (материалы сайта <https://en.wikipedia.org/>)

3.2.2. Климатические условия

Согласно [Zhu Manli et al., 2015; Zhang Chaomei et al., 2021; Shang Lijun et al., 2021], климат рассматриваемой территории (водосбора озера Поян) – субтропический имеет следующие характеристики:

1) район исследований относится к климатической зоне с наиболее благоприятными условиями по продолжительности светового дня. Продолжительность солнечного сияния обычно составляет 1894–2085 ч., в том числе на севере водосбора озера Поян – 1900–2085 ч.; 2) солнечная радиация сильна достаточно высока – до 4400 кДж/м² и выше; 3) на выходе из озера и вдоль его восточной части формируются ветры со среднегодовой скоростью $\geq 3,0$ м/с; 4) зимой достаточно прохладно, летом жарко; средняя температура составляет 16,6–18,0°C, а самая холодная в январе средняя температура составляет минус 5,5°C, а самая жаркая в июле и августе – в среднем около плюс 29°C; температура на севере ниже, чем на юге; 5) атмосферное увлажнение составляет от

1400 до 1600 мм/год, причем значительная часть этой влаги испаряется, особенно с акватории озера Поян; средний годовой объем испарения составляет 800 -1100 мм; б) осадки также очень неравномерно распределены в течение года; сумма осадков с января по март составляет 280–370 мм или около 17–20 % годовой суммы осадков; с апреля по июнь – 580–870 мм или 43–50 % годовой суммы осадков; с июля по сентябрь – 280–360 мм или 18–25 % годовой суммы осадков; с октября по декабрь – 140–200 мм или около 10 % годовой суммы осадков [Ma Yilin et al., 2003].

Количественные оценки атмосферного увлажнения и температуры воздуха приведены в табл. 3.2.2.1 – 3.2.2.4 по данным, опубликованным в «Гидрологическом ежегоднике озера Поян», издаваемом Министерством водного хозяйства КНР с 2019 по 2021 гг. Информация о метеостанциях приведена в табл. 3.2.2.5 и на рис. 3.2.2.1.

Таблица 3.2.2.1 – Атмосферные осадки в водосборе озера Поян в 2019–2021 гг.

| Период | 2019 г. | | 2020 г. | | 2021 г. | |
|--------|------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------|----------------------|
| | Сумма, мм/мес | Максиму м, мм/сут | Сумма, мм/мес | Максимум, мм/сут | Сумма, мм/мес | Максиму м, мм/сут |
| I | 981.5 | 303,5 | 1786,5 | 324 | 2523,4 | 550 |
| II | 936 | 360,5 | 1213,5 | 394 | 5506,5 | 673 |
| III | 5761 | 1241 | 3314 | 988,5 | 4604,4 | 1178 |
| IV | 3757 | 1043,5 | 5378 | 2006,5 | 4190,5 | 912,5 |
| V | 3716.7 | 1293,2 | 4046,5 | 1083 | 2675 | 994,5 |
| VI | 11132.5 | 2596 | 4118 | 1589,5 | 4476,5 | 1234,5 |
| VII | 3008.5 | 1336,5 | 2898 | 1540,5 | 6492 | 2450,5 |
| VIII | 5718.5 | 1567 | 12305 | 487,5 | 225 | 147 |
| IX | 1795.5 | 769,5 | 975,5 | 612,3 | 418,9 | 383,5 |
| X | 1196 | 581,5 | 1501,8 | 431,5 | 194 | 95 |
| XI | 1531.6 | 358 | 2495,3 | 680,5 | 460,5 | 282,5 |
| XII | 700 | 272,5 | 3206,2 | 758 | 1261,5 | 431,5 |

Таблица 3.2.2.2 – Средние значения температуры воздуха в водосборе оз. Поян в 2019 г.

| Период | Температура, °С | | | |
|--------|-----------------|----------------|---------|----------|
| | средняя высокая | средняя низкая | минимум | максимум |
| I | 9 | 3 | 3 | 16 |
| II | 8 | 4 | 1 | 18 |
| III | 17 | 10 | 6 | 29 |
| IV | 23 | 15 | 9 | 32 |
| V | 26 | 19 | 15 | 31 |
| VI | 29 | 23 | 20 | 35 |
| VII | 32 | 25 | 21 | 38 |
| VIII | 35 | 28 | 25 | 37 |
| IX | 31 | 23 | 19 | 37 |
| X | 25 | 18 | 12 | 36 |
| XI | 20 | 11 | 5 | 27 |
| XII | 14 | 6 | 3 | 25 |

Таблица 3.2.2.3 – Средние значения температуры воздуха в водосборе оз. Поян в 2020 г.

| Период | Температура, °С | | | |
|--------|-----------------|----------------|---------|----------|
| | средняя высокая | средняя низкая | минимум | максимум |
| I | 10 | 5 | 2 | 22 |
| II | 15 | 7 | 1 | 27 |
| III | 17 | 11 | 6 | 26 |
| IV | 22 | 13 | 8 | 32 |
| V | 29 | 21 | 18 | 36 |
| VI | 30 | 24 | 13 | 35 |
| VII | 32 | 26 | 24 | 37 |
| VIII | 35 | 27 | 24 | 37 |
| IX | 26 | 20 | 8 | 34 |
| X | 22 | 16 | 8 | 30 |
| XI | 18 | 12 | 6 | 30 |
| XII | 10 | 5 | -3 | 16 |

Таблица 3.2.2.4 – Средние значения температуры воздуха в водосборе оз. Поян в 2021г.

| Период | Температура, °С | | | |
|--------|-----------------|----------------|----------|----------|
| | средняя высокая | средняя низкая | минимум | максимум |
| I | 11 | 3 | -3(07-й) | 20(15-й) |
| II | 15 | 9 | 3(29-й) | 25(21-й) |
| III | 16 | 12 | 7(01-й) | 27(15-й) |
| IV | 19 | 15 | 11(05-й) | 31(30-й) |
| V | 26 | 20 | 9(23-й) | 35(15-й) |
| VI | 30 | 22 | 7(21-й) | 35(11-й) |
| VII | 32 | 25 | 15(06-й) | 37(15-й) |
| VIII | 32 | 26 | 23(14-й) | 36(02-й) |
| IX | 30 | 22 | 5(12-й) | 36(19-й) |
| X | 23 | 17 | 11(20-й) | 36(03-й) |
| XI | 18 | 11 | 5(22-й) | 23(01-й) |
| XII | 13 | 6 | 0(25-й) | 19(10-й) |

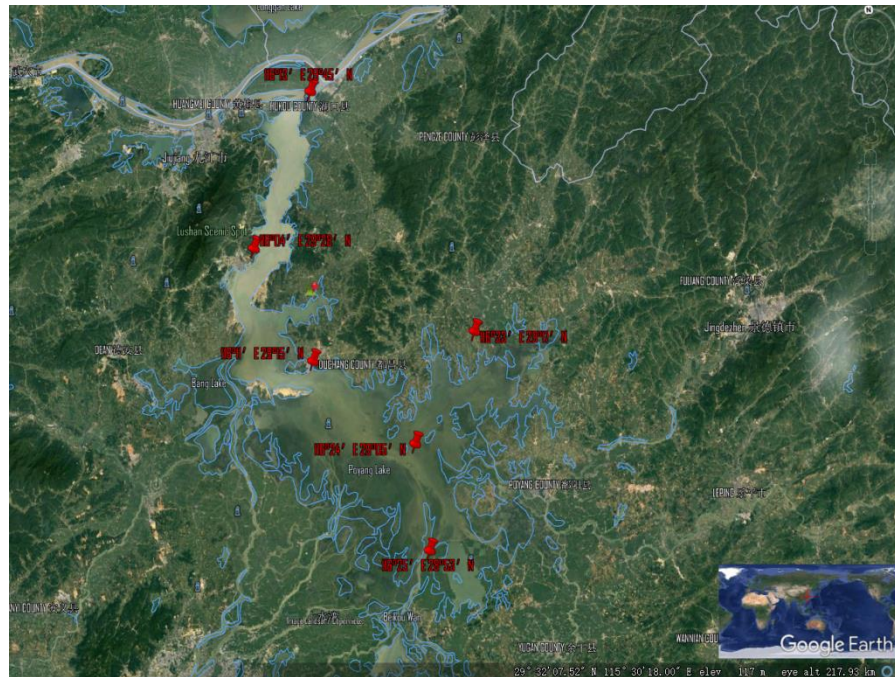


Рисунок 3.2.2.1 – Схема распределение метеостанций в районе озера Поян, на которых проводятся наблюдения за температурой атмосферного воздуха

Таблица 3.2.2.5 – Информация о метеостанциях в водосборе озера Поян, на которых проводятся наблюдения за температурой атмосферного воздуха

| Метеостанция | Серийный номер | Координаты | |
|---|----------------|------------|-----------|
| | | Долгота | Широта |
| Станция Синцзы (Хукоу Водный путь) | 62601200 | 116° 04' E | 29° 28' N |
| Станция Хукоу (Хукоу Водный путь) | 62601600 | 116° 13' E | 29° 45' N |
| Станция Дучанг (озеро Поян) | 62602000 | 116° 11' E | 29° 15' N |
| Станция Таньинь (озеро Поян) | 62602600 | 116° 24' E | 29° 05' N |
| Станция Южный Пик (озеро Поян) | 62602800 | 116° 33' E | 29° 17' N |
| Станция Каншань (озеро Поян) | 62605800 | 116° 25' E | 28° 53' N |

Примечание: полужирным шрифтом выделены метеостанции, указанные в табл. 3.2.2.6

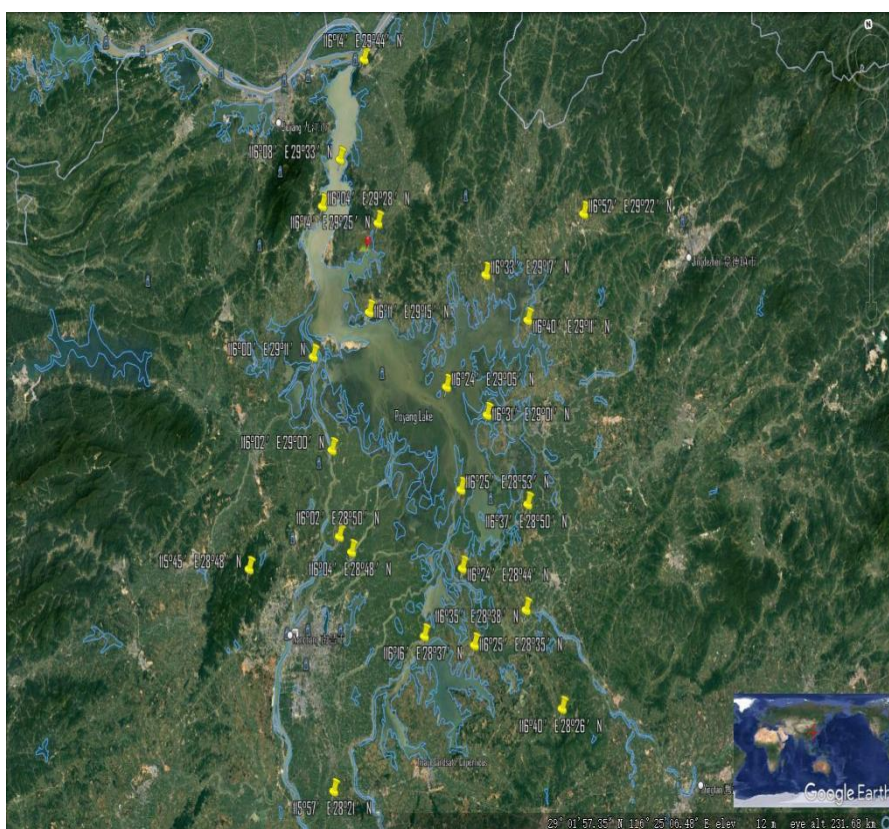


Рисунок 3.2.2.2 – Схема распределение метеостанций в районе озера Поян, на которых проводятся наблюдения за атмосферными осадками

Таблица 3.2.2.6 – Информация о метеостанциях в водосборе озера Поян, на которых проводятся наблюдения за атмосферными осадками

| Метеостанция | Серийный номер | Координаты | | Время создания |
|---|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Станция Учэн | 62621200 | 116°00'E | 29°11'N | 1947 |
| Станция Дяньцзянь-Стрит | 62621600 | 115°45'E | 28°48'N | 1965 |
| Станция Ганьцзян, западный филиал | 62622000 | 116°02'E | 29°00'N | 1965 |
| Станция Ганьцзян, северный филиал | 62622600 | 116°02'E | 28°50'N | 1978 |
| Станция Ганьцзян, средний филиал | 62622780 | 116°04'E | 28°48'N | 1990 |
| Станция озеро Цинлан (Саньян) | 62623800 | 116°16'E | 28°37'N | 1962 |
| Станция Цинфэншуй | 62624100 | 115°57'E | 28°21'N | 1989 |
| Станция озера Цзюньшань | 62624600 | 116°25'E | 28°35'N | 1965 |
| Станция озера Поян | 62624800 | 116°40'E | 28°26'N | 1963 |
| Станция Синьцзян, западный филиал | 62625400 | 116°24'E | 28°44'N | 1959 |
| Станция Озеро Поян (Цзянбу) | 62625800 | 116°35'E | 28°38'N | 1971 |
| Станция озера Поян (Каншань) | 62626000 | 116°25'E | 28°53'N | 1951 |
| Станция Озеро Поян(Шикоу) | 62626800 | 116°37'E | 28°50'N | 1964 |
| Станция озера Поян (Цзинкоу) | 62629400 | 116°31'E | 29°01'N | 1977 |
| Станция Озеро Поян (Путяньский залив) | 62629600 | 116°40'E | 29°11'N | 1964 |
| Станция Восточный Тунджин (Шишань) | 62630200 | 116°52'E | 29°22'N | 1962 |
| Станция Озеро Поян (Южный Пик) | 62633400 | 116°33'E | 29°17'N | 1964 |
| Станция Озеро Поян (Таньинь) | 62634600 | 116°24'E | 29°05'N | 1961 |
| Станция Озеро Поян (Дучан) | 62634800 | 116°11'E | 29°15'N | 1952 |
| Станция Бэймиаоху (мост Шизуй) | 62635200 | 116°14'E | 29°25'N | 1965 |
| Станция Хукоу Водный путь (Синцзы) | 62639600 | 116°04'E | 29°28'N | 1950 |
| Станция Хукоу Водный путь (Пинфэн) | 62639800 | 116°08'E | 29°33'N | 1983 |
| Станция Хукоу Водный путь (Хукоу) | 62640400 | 116°14'E | 29°44'N | 1931 |

Примечание: полужирным шрифтом выделены метеостанции, указанные в табл. 3.2.2.5

3.2.3. Геоморфологические и геологические условия

Водосбор озера Поян окружен горами с трех сторон (максимальная отметка на пике Ханьян – 1474 м), с равнинной частью в северной части, ближе к озеру Поян и р. Янцзы. Прибрежные территории расположены на высоте обычно менее 25 м над уровнем моря. Высотные отметки постепенно уменьшается с юга на север. Поверхность самого озера находится на отметках 20–23 м, в среднем 21 м.

Водосбор озера Поян расположен в пределах двух тектонических блоков, один из которых (северный) относится к юго-восточной окраине Южно-Китайской древней платформы, а другой (южный) – к Катазийской складчато-покровной системе, сформировавшейся в позднекаледонскую эпоху тектогенеза (зона проседания в тектонической системе Новой Катайзии, согласно Ли Сигуангу [Li Siguang et al., 1973]). Между ними сформировался тектонический пояс Ганьхан [Yu Xinqi et al., 2006] в направлении с северо-востока на юго-запад.

В вертикальном разрезе рассматриваемой территории выделяется метаморфический и складчатый двухслойный фундамент, нижняя часть которого – это основание метаморфических пород протерозойской группы Шуанцяошань, а верхняя часть – складчатое основание юрских осадочных пород. Континентальные осадочные покрывающие породы, развитые в бассейне, включают: нижнемеловую формацию Ленгшуйу, верхнемеловую формацию Чжоуцзядянь и формацию Наньсюн и палеоценовую формацию Цинцзян. В бассейне широко развита меловая система, а палеогеновая система распространена в небольшой части западной части бассейна. Водосбор в основном покрыт четвертичными отложениями, а осадочная система включает флювиальные, дельтовые и озерные фации [Zhang Meihua, 2014].

В геологическом строении участвуют образования различного происхождения, возраста и состава (рис. 3.2.3.1), в том числе:

Докембрий (Пресинийский ярус): широко распространенный по всей территории, мощностью 20 000 м; это неглубокая метаморфическая серия пород, состоящая из вулканитов, пирокластических пород и глинистых флишевых турбидитов; распространенные в Синцзы, к северо-западу от Синьцзяня, на контакте с Цзиньнинскими магматическими породами, образовались мигматитовые или смешанные гнейсовые пояса;

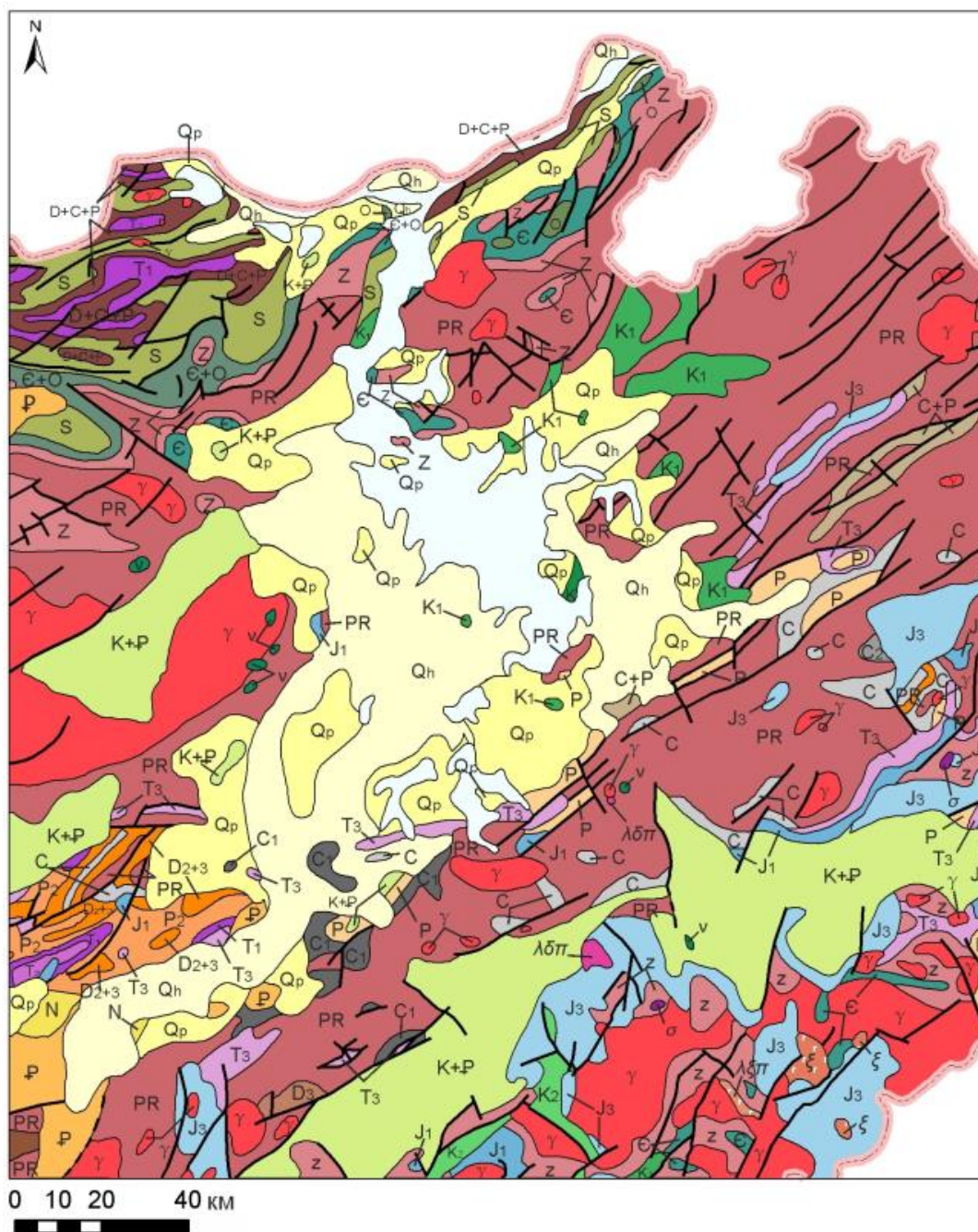


Рисунок 3.2.3.1 – Фрагмент геологической карты провинции Цзяньси (материалы [The geological map..., 1996] приведено по [Солдатов, 2016]); условные обозначения:



Докембрий (Синианский ярус): развита только в северной части озера, разделена на верхнюю и нижнюю системы; верхняя толща представлена в основном обломочными породами и доломитами, содержащими илы и пески, кремнистые известняки с прослоями углистых сланцев и т. д., общей мощностью около 1000 м; по моренным иловым конгломератам;

Кембрий и ордовик: развиты только в северной части исследуемого района, в основном сложены карбонатными породами, представленными полосчатыми глинистыми известняками с прослоями известковистых сланцев, светлых известняков, доломитов и др., к западу от Деан, в ордовике преобладают илистые и песчаные структуры общей мощностью около 2000 м;

Силур: распространен только в северной части, представляет собой набор флишеподобных отложений мощностью до 4000 м, представленных серо-зелеными и желто-зелеными аргиллитами, алевролитами и песчаниками;

Девон: нижняя система девонской системы в районе исследования отсутствует, развиты только средняя система и верхняя система; средняя серия обнажается на юге Шиганга и озера Сайху и представлена в основном обломочными осадочными породами типа литорального глутенита, верхняя серия развита в северной части и образована континентальными обломочными породами общей мощностью около 700 м;

Каменноугольная система: спорадически обнажается в северных и южных районах, а нижняя система встречается только в южном районе, сложена в основном береговыми и приливно-отливными фациально-обломочными угленосными образованиями, частично переслаивающимися с карбонатными породами; верхняя система полностью образована мелководными морскими карбонатными породами мощностью около 71-500 м;

Пермь: распределение примерно такое же, как и в каменноугольном периоде, за исключением того, что в нижней части верхней системы преобладают угленосные обломочные образования, граничащие с морем и сушей, а дно иногда переслаивается угленосными обломочными породами; остальные представляют собой в основном мелководные морские фациальные карбонатные образования, мощность которых в районе, как правило, не превышает 600 м;

Триас: в основном развит на западе северной области, а также спорадически распространен в южной области, нижняя система образована неритовыми глинисто-карбонатными породами, средняя система представлена карбонатными породами, а верхняя система образована реками и озерами, угленосные обломочные породы формировались в болотной фации, общей мощностью в районе 500-1500 м;

Юра: распространена только в южной части, нижняя система представлена в основном угленосными обломочными отложениями речных и озерных фаций, верхняя часть представлена совокупностью пирокластических пород, средняя часть не имеет обнажений на поверхности, мощность около 1000–2000 м;

Меловой и третичный периоды: широко распространены в бассейнах озер и равнинах долин, в основном это набор континентальных краснообломочных отложений с преобладанием речных и озерных фаций, с частично зажатыми гипсово-соляными слоями на юге Наньчана; мощность достигает 4000-5000 м;

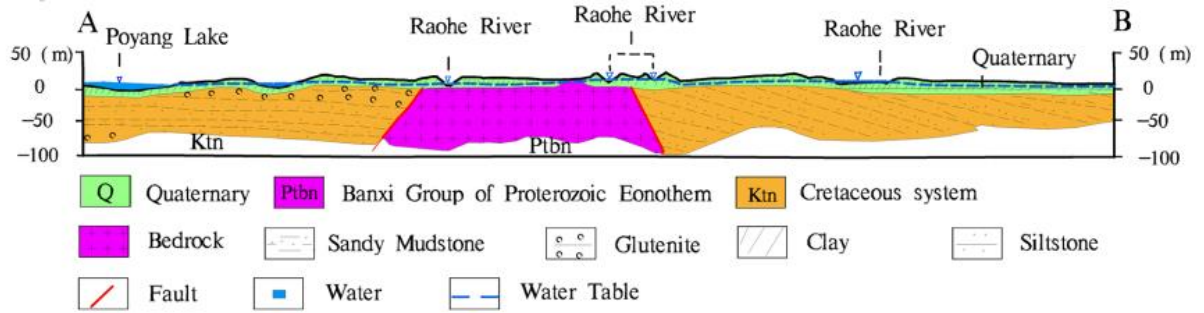


Рисунок 3.2.3.2 – Схематичный геологический разрез устьевой области реки Раоэ (Raohe) в юго-восточной части озера Поян [Liao et al., 2018]

Четвертичная система: отложения широко распространены на приозерных и долинных равнинах террас I и II степени, преимущественно аллювиальных и аллювиально-озерных фаций алевритовых, песчаных и галечниковых; восточные и южные предгорья и приграничные районы горы Лушань в основном состоят из моренных илов и гравийных слоев; литология и мощность сильно различаются от места к месту; в окружающих холмистых районах они тонкие и рассеянные, а на равнинах у озер и долин они толстые и сплошные, среди них мощность городского района Наньчан составляет 15-20 м; Цзянси, дельта Фухе реки и его передний край имеют толщину 50-70 м, а на участке впадения в реку озера Мэйцзячжоу наибольшая мощность составляет около 150 м.

3.2.4. Гидрологические условия

Озеро Поян расположено в северо-центральной части провинции Цзянси, между 28°20'-29°50' северной широты и 115°50'-116°45' восточной долготы, его длина с севера на восток составляет 173 км, на юг и шириной 74 км с востока на запад. Озеро имеет форму бутылочной тыквы, максимальный уровень воды превышает 20 м (самый высокий исторический уровень воды составляет 22,59 м отмечен 31 июля 1998 г.), а площадь акватории составляет в среднем 4125 км². Для озера характерна достаточно большая амплитуда колебаний уровней воды и, соответственно, площади акватории – от 2,7–3,0 тыс. км² до 5,0 тыс. км² и более [Yin Zhuo, 2013; Zhang Meihua, 2014].

Гидрографическая сеть в водосборе озера Поян представлена собственно озером с протокой, соединяющей его с р. Янцзы и притоками, наиболее крупные из которых – реки Ганьцзян, Фухэ, Синьцзян, Жаохэ и Сюшуй (рис. 3.2.4.1). Информация о расходах воды и параметрах потоков приведены в табл. 3.2.4.2 – 3.2.4.4.

Таблица 3.2.4.1 – Морфометрические характеристики рек Фухэ, Ганьцзян, Сюшуй, Раохе, Синьцзян

| Пункт | Река | Куда впадает | L , км | F , км ² |
|-------|----------|--------------|----------|-----------------------|
| 1 | Фухэ | Озеро Поян | 349 | $1,72 \times 10^8$ |
| 2 | Ганьцзян | Озеро Поян | 766 | $8,35 \times 10^8$ |
| 3 | Сюшуй | Озеро Поян | 357 | $1,48 \times 10^4$ |
| 4 | Раохе | Озеро Поян | 313 | $1,55 \times 10^4$ |
| 5 | Синьцзян | Озеро Поян | 313 | $1,76 \times 10^4$ |

Примечание: L – длина реки от истока до створа; F – площадь водосбора

Таблица 3.2.4.2 – Гидрологические характеристики рек в 2019 году (среднегодовые значения для каждой реки в устьевых областях)

| Номер пункта | Река | Дата измерения | h_a , м | B , м | v_a , м/с | Q , м ³ /с |
|--------------|----------|----------------|-----------|---------|-------------|-------------------------|
| 1 | Фухэ | 2019 | 2,06 | 56,26 | 0,65 | 75,33 |
| 2 | Ганьцзян | 2019 | 8,44 | 1175,83 | 0,077 | 764,30 |
| 3 | Сюшуй | 2019 | 3,62 | 252 | 0,65 | 592,956 |
| 4 | Раохе | 2019 | 3,46 | 195,5 | 0,069 | 46,71 |
| 5 | Синьцзян | 2019 | 2,96 | 388,25 | 0,14 | 161,03 |

Примечание: h_a – средняя глубина потока; B – ширина потока; v_a – средняя скорость течения; Q – расход воды

Таблица 3.2.4.3 – Гидрологические характеристики рек в 2020 году (среднегодовые значения для каждой реки в устьевых областях)

| Номер пункта | Река | Дата измерения | h_a , м | B , м | v_a , м/с | Q , м ³ /с |
|--------------|----------|----------------|-----------|---------|-------------|-------------------------|
| 1 | Фухэ | 2020 | 1,98 | 55,74 | 0,70 | 77,23 |
| 2 | Ганьцзян | 2020 | 5,985 | 1160 | 0,125 | 867,825 |
| 3 | Сюшуй | 2020 | 2,02 | 210 | 0,24 | 101,81 |
| 4 | Раохе | 2020 | 3,394 | 194,4 | 0,022 | 14,515 |
| 5 | Синьцзян | 2020 | 3,705 | 373,6 | 0,13 | 179,7 |

Примечание: h_a – средняя глубина потока; B – ширина потока; v_a – средняя скорость течения; Q – расход воды

Таблица 3.2.4.4 – Гидрологические характеристики рек в 2021 году (среднегодовые значения для каждой реки в устьевых областях)

| Номер пункта | Река | Дата измерения | h_a , м | B , м | v_a , м/с | Q , м ³ /с |
|--------------|----------|----------------|-----------|---------|-------------|-------------------------|
| 1 | Фухэ | 2021 | 1,71 | 53,78 | 0,63 | 58,02 |
| 2 | Ганьцзян | 2021 | 4,581 | 1140 | 0,11 | 574,46 |
| 3 | Сюшуй | 2021 | 2,14 | 200 | 0,16 | 68,48 |
| 4 | Раохе | 2021 | 3,38 | 192,1 | 0,021 | 13,66 |
| 5 | Синьцзян | 2021 | 3,56 | 374,5 | 0,0615 | 81,9 |

Примечание: h_a – средняя глубина потока; B – ширина потока; v_a – средняя скорость течения; Q – расход воды

3.2.5. Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории характеризуются принадлежностью к восточной части Янцзыйского гидрогеологического района и наличием системы гидравлически связанных водоносных горизонтов (системы озера Поян), в составе которой выделяют семь подсистем: 1) аллювиально-озерная равнинная поровая подсистема; 2) аллювиальная равнинная поровая подсистема; 3) порово-трещинная подсистема в обводненных красноцветных породах пласта Ганди; 4) трещинно-поровая подсистема обводненных обломочных пород гор и холмов; 5) трещинно-карстовая подсистема в карбонатных породах горных районов; 6) подсистема обводненных трещиноватых метаморфических пород гор и холмов; 7) подсистема обводненных трещиноватых магматических пород гор и холмов [Hou G.C. et al., 2017].

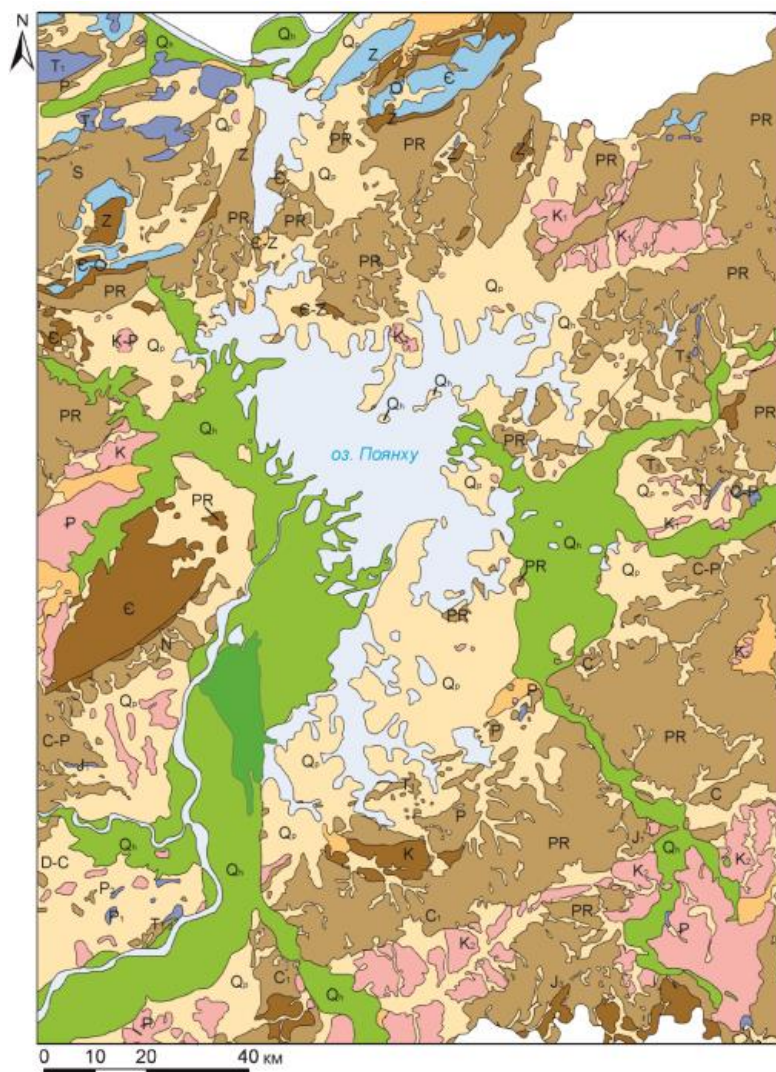
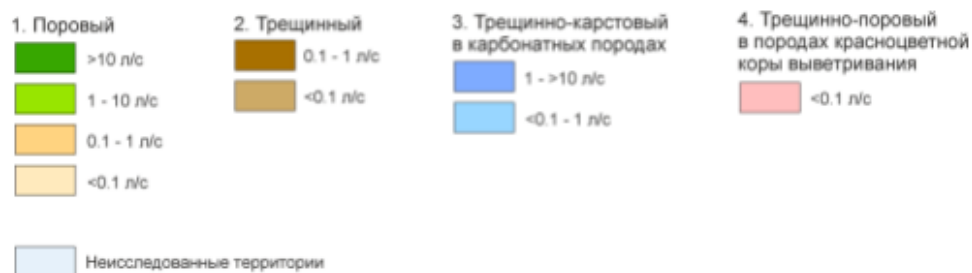


Рисунок 3.2.5.1 – Фрагмент карты водообильности горных пород на приозерных территориях в провинции Цзяньси (приводится по [Солдатова, 2016]); условные обозначения:

Тип резервуара (со значениями удельного дебита скважин):



1. *Аллювиально-озерная равнинная поровая подсистема.* В основном распространен на равнинных участках (например, на приозерных территориях); водовмещающие отложения представлены в основном рыхлыми скоплениями. Дебит воды из одной скважины может достигать 100-1000 т/сутки, а по некоторым скважинам до 1000 т/сутки. Уровень подземных вод этой водосодержащей подсистемы залегает, как правило, на 1,8-6,5 м, а гидравлический уклон небольшой. Подземные воды в этой подсистеме в меньшей степени пополняются атмосферными

осадками или за счет вертикальной инфильтрации озерных вод, а в основном за счет бокового притока (рис. 3.2.5.1).

2. *Аллювиальная равнинная поровая подсистема.* Эта водоносная подсистема в основном распространена в долинной равнинной области, водообильна. Водовмещающие отложения представлены в основном рыхлыми скоплениями (четвертичные пески, гравий и глины). Дебит воды из одной скважины в основном превышает 1000 т/сутки. Уровень подземных вод залегает глубоко, а гидравлический уклон небольшой. Поскольку русло реки, как правило, глубоко изрезано, поверхностный слой глинистого грунта вдоль побережья относительно тонкий, а подземные воды в нижнем песчано-гравийном слое тесно связаны с поверхностными водами. Во влажный сезон подземные воды могут пополняться не только за счет вертикальной инфильтрации осадков и бокового питания из коренных пород, но и за счет большого количества поверхностных вод; в засушливый период – в основном за счет бокового притока из коренных пород; сток из подсистемы направлен в речную сеть.

3. *Порово-трещинная подсистема в обводненных красноцветных породах пласта Ганди.* В основном распространены в Наньчане, Цзяньи, Синьмине, Шэнми, Санчасяне, деревне Танси и других холмистых районах озер и долин и состоит из меловых и третичных кальцийсодержащих красных обломочных пород. Приток воды по одной скважине обычно составляет 100-1000 т/сут. Остальная часть района маловодна, дебит одной скважины менее 100 т/сут, дебит родников – менее 0,53 л/с. Глубины залегания подземных вод – около 10 м. Подземные воды в основном питаются атмосферными осадками вертикально и разгружаются в ближайшие речные долины. Из-за покровных глинистых отложений просачивание происходит относительно медленно.

4. *Трещинно-поровая подсистема обводненных обломочных пород гор и холмов.* В основном распространены в горах и холмах на южной окраине реки Янцзы на севере и сложен силурийскими и синийскими песчаными (сланцевыми) породами и песчано-сланцевыми породами верхней юры-нижнего карбона в районе Цзиньсянь-Лепин. Приток воды из одной скважины составляет менее 100 т/сутки, дебит родников – менее 0,10 л/с, за исключением некоторых участков 0,22 л/с, а глубина залегания – от 0,13 до 20 м. Подземные воды в этой водосодержащей подсистеме питаются в основном атмосферными осадками, а сток непродолжителен и в основном разгружается в долине в виде родников и рассеянных потоков.

5. *Подсистема трещинно-карстовых вод осадочных породах горных районов.* Распространены в северной части озерной области и Цзинься-Лепинском районе. Водовмещающие породы представлены осадочными породами кембрийской, ордовикской, верхнекаменноугольной, нижнепермской и триасовой (средних и нижних подотделов) систем. В северной части распространен карст. Приток воды из одной скважины в основном составляет

более 1000 т/сут, а на некоторых участках превышает 2000 т/сут; расход родников колеблется от 2,1 до 80 л/с. В Цзиньсянь-Лепинском районе распространение карста спорадическое, обводненность слабая, приток воды по одной скважине обычно не превышает 100 т/сут, а родниковый поток обычно составляет всего около 0,22 л/с. Водосодержащая подсистема находится в основном в средне-низкогорном районе рельефа, глубины – 1-20 м, коэффициент инфильтрации составляет 0,18-0,44. Подсистема питается большим количеством осадков.

6. *Подсистема обводненных трещиноватых метаморфических пород гор и холмов.* В основном распространены в холмистой и гористой местности, сложенной метаморфическими обломочными породами досинского периода, покрывая всю территорию. Дебит скважин – менее 100 т/сут, дебит большей части родников менее 0,1 л/с, глубины – 0,4–4,2 м. Подземные воды питаются в основном атмосферными осадками. Путь стока короткий, часто пополняется вблизи источника и разгружается на месте, обычно в виде родников и рассеянных потоков в долины.

7. *Подсистема обводненных трещиноватых магматических пород гор и холмов.* В основном распространены в горах и холмах на западе озерного района и на севере Цзиньсяня и Дучана. Водовмещающие отложения состоят в основном из средних и кислых гранитов, гранит-порфиров и гранодиоритов. Развиты трещины выветривания, но обводненность бедная, дебит одной скважине менее 100 т/сут, дебит родников – обычно менее 0,5 л/с, уровень погребенной воды обычно 1-2 м.

Связи между подземными водами и режимом озера Поян являются предметом пристального внимания многих исследователей. Одна из наиболее интересных работ выполнена авторами [Song et al., 2023], показавшими посредством моделирования в системе MODFLOW, что: 1) в безнапорные водоносные горизонты поступает примерно 8 % годового количества атмосферных осадков; 2) колебания уровня грунтовых и озерных вод отражают наличие гидравлической (нелинейной) связи между ними; обменные потоки между водоносными горизонтами и озером Поян изменчивы во времени и могут менять направление на противоположное и имеют временной лаг с атмосферным увлажнением. По состоянию на 2010 и 2011 гг. ежемесячный нетто-поток инфильтрации озерных вод в водоносные горизонты воды составлял 1,5–10,0 мм и 0,1–6,0 мм, соответственно, а обратный поток подземных вод в озеро – 1,3–9,5 мм и 0,4–2,2 мм; поступление подземных вод в межень может играть существенную роль в формировании водного баланса озера Поян (рис.3.2.5.2). И объем подземных и поверхностных вод в районе озера Поян и водной системы озера Поян (таблица.3.2.5.1).

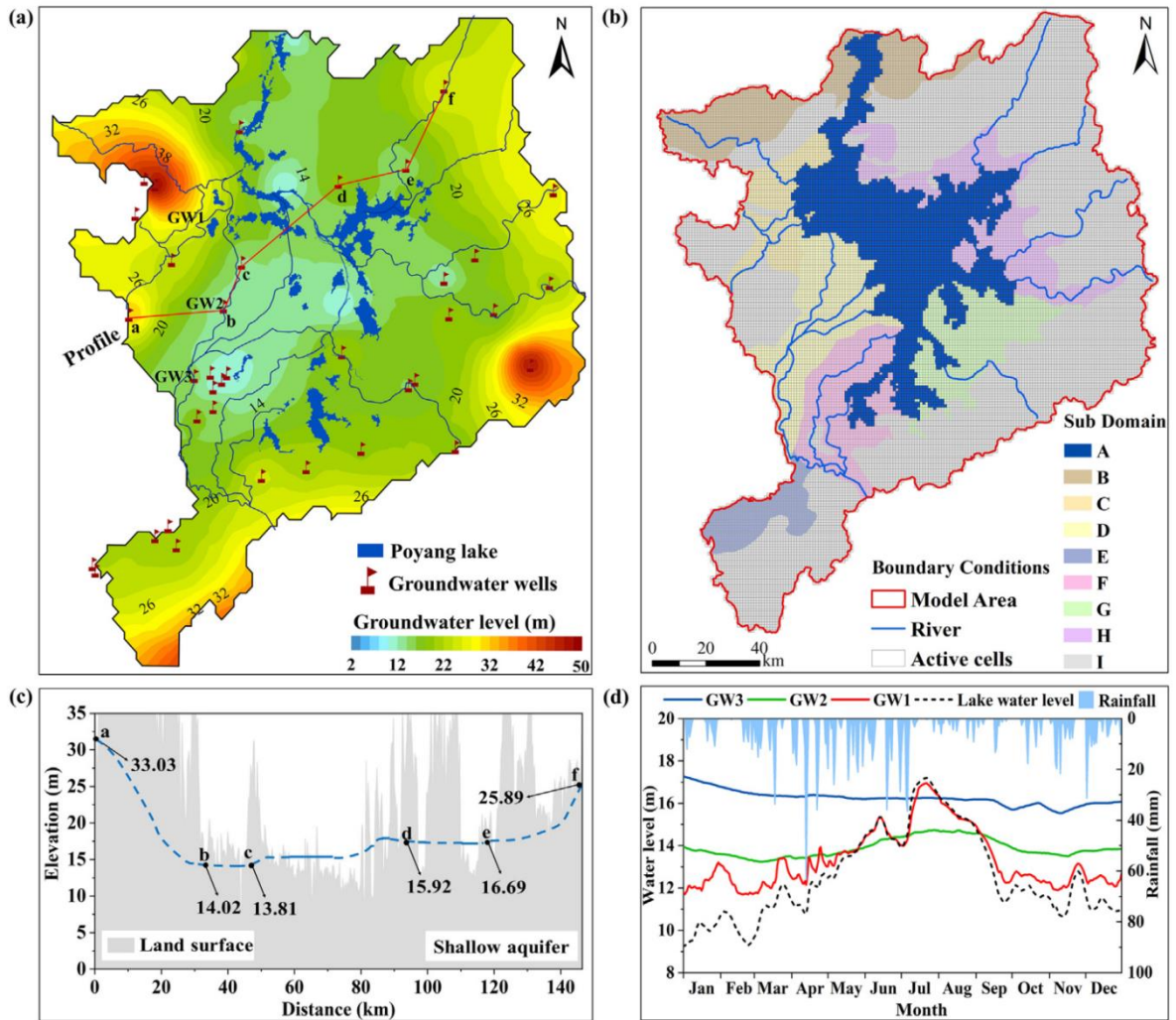


Рис. 3.2.5.2 – Результаты моделирования изменений уровней подземных вод в районе озера Поян [Song et al., 2023]

Общее содержание растворенных веществ (TDS) в подземных водах в большинстве районов водосборов озера Поян составляет менее 1 г/л (пресные воды). Наибольшие значения TDS обычно приурочены к карбонатным трещинно-пещерным подсистемам в северной части района исследований и к аллювиально-озерным и аллювиально-равнинным поровым водоносным подсистемам на равнинной территории.

Таблица.3.2.5.1 – Водные ресурсы водосбора озера Поян в 2015 – 2020 гг., млн м³

| Район | Поверхностные воды | Подземные воды | Ресурсы гидравлически не связанных подземных и поверхностных вод | Общие ресурсы | Год |
|-------------------------|--------------------|----------------|--|---------------|------|
| Водосбор оз. Поян | 238,85 | 44,11 | 18,25 | 257,10 | 2015 |
| Водная система оз. Поян | 1893,38 | 445,54 | 18,25 | 1911,63 | |

| | | | | | |
|----------------------------|---------|--------|-------|---------|------|
| Водосбор оз. Поян | 210,60 | 38,28 | 17,82 | 228,42 | 2016 |
| Водная система оз. Поян | 2072,86 | 479,54 | 17,82 | 2090,68 | |
| Водосбор оз. Поян | 212,07 | 38,82 | 17,94 | 230,01 | 2017 |
| Водная система оз. Поян | 1529,99 | 359,94 | 17,94 | 1547,93 | |
| Водосбор оз. Поян | 140,14 | 33,21 | 19,24 | 159,38 | 2018 |
| Водная система оз. Поян | 1072,12 | 284,58 | 19,24 | 1091,36 | |
| Водосбор оз. Поян | 182,56 | 34,15 | 18,94 | 201,50 | 2019 |
| Водная система оз. Поян | 1932,90 | 460,45 | 18,94 | 1951,84 | |
| Водосбор оз. Поян | 241,24 | 42,95 | 18,84 | 260,08 | 2020 |
| Водная система оз. Поян | 1579,41 | 367,45 | 18,84 | 1598,25 | |

Примечание: «водная система оз. Поян» – ресурсы озера и прибрежных территорий согласно водохозяйственному районированию провинции Цзянси

По химическому составу воды достаточно часто гидрокарбонатные натриевые и гидрокарбонатные кальциевые. Наибольшие содержания K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- чаще отмечаются в подсистеме поровых вод аллювиальной равнины, наибольшие содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- – в подсистемах карбонатных поровых и карстовых водах в горах и водоносных подсистемах обломочных пород в горах и холмах. Подземные воды на отдельных участках исследуемой территории подвержены влиянию сельскохозяйственного производства и загрязнены в районах добычи флюорита [Groundwater Quality Standards GB/T 14848, 2017].

3.2.6. Хозяйственная деятельность

На территории водосбора озера Поян проживает 12 млн человек, плотность населения составляет примерно 420 человек на квадратный километр, что примерно вдвое превышает

плотность населения провинции Цзянси, развиты различные отрасли промышленности и сельского хозяйства. Для обеспечения потребностей населения и производства требуется значительное количество воды. При этом образуется и большой объем сточных вод. Обобщенная характеристика водопользования приведена в табл 3.2.6.1

Таблица 3.2.6.1 – Использование водных ресурсов в водосборе озера Поян

| Район | Сельскохозяйственное водопотребление | Промышленное водопотребление | Городское общественное водопотребление | Бытовое потребление воды | Водопотребление на экологические нужды | Общее водопотребление | Из них потребление подземных вод | Год |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--|--------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|------|
| Водосбор оз. Поян | 33,96 | 11,67 | 1,87 | 4,91 | 0,69 | 53,10 | 1,63 | 2015 |
| Водная система озера Поян | 146,7 | 52 | 5,43 | 19,9 | 1,94 | 225,97 | 7,61 | 2015 |
| Водосбор оз. Поян | 33,73 | 11,7 | 1,91 | 5,04 | 0,69 | 53,07 | 1,6 | 2016 |
| Водная система озера Поян | 32,59 | 11,40 | 1,95 | 5,06 | 0,7 | 51,7 | 1,54 | 2017 |
| Водная система озера Поян | 148,48 | 51,57 | 5,78 | 20,48 | 2,1 | 228,41 | 7,66 | 2017 |
| Район вокруг озера Поян | 34,17 | 11 | 1,95 | 5,1 | 0,7 | 52,92 | 1,52 | 2018 |
| Водная система озера Поян | 152,42 | 50,04 | 5,8 | 20,46 | 2,16 | 230,88 | 7,44 | 2018 |
| Район вокруг озера Поян | 34,39 | 10,84 | 1,96 | 5,11 | 0,71 | 53,01 | 1,53 | 2019 |
| Водная система озера Поян | 154,21 | 50,94 | 5,97 | 20,55 | 2,19 | 233,86 | 7,43 | 2019 |
| Район вокруг озера Поян | 32,82 | 8,11 | 1,96 | 5,12 | 1,3 | 49,31 | 1,46 | 2020 |
| Водная система озера Поян | 154,16 | 43,16 | 6,23 | 20,02 | 2,92 | 226,49 | 5,76 | 2020 |

4. Анализ гидрогеодинамических условий взаимодействия подземных и болотных вод

Анализ гидрогеодинамических условий взаимодействия подземных и болотных вод выполнен в основном по данным, полученным на Обском болоте, и включал в себя: 1) составление водного баланса Обского болота и его водосбора с целью оценки инфильтрации Inf при допущении равенства в среднемноголетнем разрезе инфильтрации и подземного стока; 2) расчет по уравнению Дюпюи отношения Inf к коэффициенту фильтрации $k_f(D)$ с последующим определением его среднего значения по разрезу; 3) расчет изменения по глубине средневзвешенных значений коэффициента фильтрации $k_f(Z)$ по данным измерений и определение глубины активного взаимодействия поверхностных и подземных вод как точки пересечения $k_f(D)$ и $k_f(Z)$; 4) построение и анализ кривых депрессии подземных и болотных вод с целью определения горизонтальных границ взаимного влияния подземных и болотных вод.

4.1. Водный баланс Обского болота

Данные режимных наблюдений за уровнями болотных вод на низинном Обском болоте отсутствуют, но имеются для низинного Баксинского болота (болото расположено в системе «р. Бакса – р. Шегарка – р. Обь»), расположенного к юго-западу от Обского болота (в 120–170 км) в сходных природных условиях. Поэтому первоначально модель водного баланса была составлена для Баксинского болота, а ряд ее параметров использован при расчете водного баланса Обского болота и его водосбора. Анализ годовых сумм атмосферных осадков в геометрическом центре водосбора р. Баксы у с. Пихтовка позволил выявить (с уровнем значимости 5 %) условно однородный период с 1966–1975 гг. С учетом этого, а также принимая во внимание период наблюдений за уровнями вод Баксинского болота 1961–1969 гг. [Ресурсы поверхностных..., 1972], по уравнениям (2.4–2.31) выполнен расчет элементов водного баланса водосбора р. Баксы у с. Пихтовка (табл. 4.1.1) и болот на этой территории (табл. 4.1.2; положительные значения ΔW_{fen} связаны с аккумуляцией воды в торфяной залежи, ΔW_{fg} – с увеличением водоотдачи из торфяной залежи в рассматриваемом месяце по сравнению с предыдущим, ΔW_{fg} – с увеличением инфильтрации; отрицательные значения ΔW_{fen} и ΔW_{fg} связаны с притоком подземных вод в нижние горизонты торфяной залежи, ΔW_{fg} – с уменьшением водоотдачи из торфяной залежи).

Таблица 4.1.1 – Месячные и годовые значения слоя водного стока Y (по измеренным расходам воды Q), эффективного увлажнения H (2.17), испарения E (сумма значений по уравнениям (2.5, 2.6), изменений влагозапасов ΔW ($\Delta W=H-E-Y$) в водосборе р. Баксы у с. Пихтовка

| Параметр, мм | Год | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | X–IX |
|--------------|------|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|----|-----|------|
| Y | 1966 | 0 | 0 | 0 | 3 | 69 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | 26 | 60 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93 |
| | 1970 | 0 | 0 | 0 | 23 | 5 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 3 | 0 | 35 |
| | 1971 | 0 | 0 | 0 | 56 | 37 | 13 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 115 |
| | 1972 | 0 | 0 | 0 | 28 | 12 | 31 | 37 | 11 | 8 | 12 | 6 | 2 | 127 |
| | 1973 | 1 | 1 | 1 | 178 | 64 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 279 |
| | 1974 | 0 | 0 | 0 | 23 | 23 | 35 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 |
| H | 1966 | 0 | 0 | 0 | 0 | 192 | 63 | 35 | 41 | 15 | 0 | 0 | 0 | 382 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | 131 | 25 | 74 | 69 | 60 | 39 | 20 | 0 | 0 | 397 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | 63 | 39 | 34 | 77 | 43 | 32 | 29 | 0 | 0 | 310 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | 0 | 192 | 36 | 61 | 97 | 41 | 69 | 0 | 0 | 457 |
| | 1970 | 0 | 0 | 0 | 83 | 36 | 68 | 91 | 100 | 12 | 0 | 0 | 0 | 461 |
| | 1971 | 0 | 0 | 0 | 154 | 62 | 44 | 50 | 105 | 19 | 27 | 0 | 0 | 434 |
| | 1972 | 0 | 0 | 0 | 114 | 43 | 116 | 62 | 72 | 46 | 38 | 0 | 0 | 480 |
| | 1973 | 0 | 0 | 0 | 133 | 48 | 72 | 125 | 26 | 21 | 35 | 0 | 0 | 463 |

Продолжение таблицы 4.1.1

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|------|
| | 1974 | 0 | 0 | 0 | 126 | 65 | 69 | 23 | 68 | 78 | 0 | 0 | 0 | 465 |
| <i>E</i> | 1966 | 4 | 4 | 10 | 19 | 46 | 72 | 85 | 66 | 56 | 17 | 6 | 2 | 409 |
| | 1967 | 4 | 4 | 12 | 39 | 66 | 76 | 79 | 43 | 31 | 23 | 6 | 5 | 381 |
| | 1968 | 4 | 5 | 13 | 30 | 69 | 73 | 74 | 55 | 30 | 20 | 4 | 3 | 389 |
| | 1969 | 2 | 2 | 7 | 19 | 39 | 90 | 103 | 36 | 35 | 13 | 9 | 4 | 360 |
| | 1970 | 4 | 5 | 9 | 29 | 64 | 75 | 51 | 38 | 44 | 10 | 8 | 4 | 344 |
| | 1971 | 4 | 3 | 9 | 31 | 50 | 77 | 67 | 45 | 44 | 30 | 9 | 4 | 352 |
| | 1972 | 4 | 3 | 9 | 31 | 50 | 77 | 67 | 45 | 44 | 30 | 9 | 4 | 373 |
| | 1973 | 3 | 4 | 9 | 32 | 48 | 74 | 57 | 57 | 51 | 21 | 6 | 4 | 378 |
| | 1974 | 3 | 3 | 8 | 32 | 56 | 69 | 78 | 48 | 20 | 13 | 5 | 3 | 348 |
| ΔW | 1966 | 0 | 0 | 0 | -3 | 77 | -19 | -53 | -25 | -42 | 0 | 0 | 0 | -61 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | 84 | -42 | -2 | -10 | 16 | 8 | -3 | 0 | 0 | 54 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | 33 | -30 | -39 | 3 | -12 | 3 | 9 | 0 | 0 | -46 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | -26 | 94 | -60 | -42 | 61 | 6 | 56 | 0 | 0 | 41 |
| | 1970 | 0 | 0 | 0 | 31 | -33 | -7 | 39 | 58 | -32 | -3 | -3 | 0 | 112 |
| | 1971 | 0 | 0 | 0 | 68 | -25 | -46 | -20 | 60 | -25 | -3 | 0 | 0 | 6 |
| | 1972 | 0 | 0 | 0 | 56 | -19 | 8 | -41 | 16 | -7 | -4 | -6 | -2 | 10 |
| | 1973 | -1 | -1 | -1 | -77 | -64 | -13 | 65 | -31 | -30 | 14 | 0 | 0 | -164 |
| | 1974 | 0 | 0 | 0 | 71 | -14 | -35 | -63 | 19 | 58 | 0 | 0 | 0 | 50 |

Таблица 4.1.2 – Месячные и годовые значения слоя водного стока Y_{fen} (2.18), эффективного увлажнения H_{fen} (17), испарения E_{fen} (сумма значений по уравнениям (2.5, 2.12), изменений влагозапасов ΔW_{fen} ($\Delta W_{fen}=H-E_{fen}-Y_{fen}$), водоотдачи из торфяной залежи μ_{fen} ΔZ_{fw} и водообмена между болотными и подземными водами ΔW_{fg} на Баксинском болоте

| Параметр, мм | Год | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | X-IX |
|--------------|------|---|----|-----|-----|-----|----|-----|------|----|----|----|-----|------|
| Y_{fen} , | 1966 | 0 | 0 | 0 | 5 | 111 | 17 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 138 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | 42 | 97 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 149 |
| | 1970 | 0 | 0 | 0 | 37 | 8 | 1 | 2 | 7 | 1 | 4 | 5 | 0 | 57 |
| | 1971 | 0 | 0 | 0 | 89 | 60 | 21 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 185 |
| | 1972 | 0 | 0 | 0 | 45 | 19 | 49 | 60 | 18 | 14 | 20 | 9 | 3 | 204 |
| | 1973 | 2 | 1 | 1 | 287 | 103 | 19 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 449 |
| | 1974 | 0 | 0 | 0 | 37 | 37 | 56 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 145 |
| E_{fen} | 1966 | 4 | 4 | 10 | 19 | 67 | 63 | 56 | 37 | 29 | 17 | 6 | 2 | 319 |
| | 1967 | 4 | 4 | 12 | 62 | 75 | 60 | 49 | 24 | 16 | 12 | 6 | 5 | 331 |
| | 1968 | 4 | 5 | 13 | 47 | 83 | 62 | 48 | 31 | 16 | 11 | 4 | 3 | 333 |
| | 1969 | 2 | 2 | 7 | 19 | 61 | 82 | 67 | 21 | 19 | 7 | 9 | 4 | 297 |
| | 1970 | 4 | 5 | 9 | 46 | 83 | 64 | 34 | 22 | 23 | 10 | 8 | 4 | 310 |
| | 1971 | 4 | 3 | 9 | 49 | 64 | 65 | 44 | 25 | 23 | 15 | 9 | 4 | 309 |
| | 1972 | 4 | 3 | 9 | 49 | 63 | 65 | 45 | 26 | 25 | 16 | 9 | 4 | 317 |
| | 1973 | 3 | 4 | 9 | 51 | 61 | 60 | 37 | 32 | 26 | 11 | 6 | 4 | 312 |

Продолжение таблицы 4.1.2

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|----|----|----|------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|------|
| | 1974 | 3 | 3 | 8 | 51 | 65 | 56 | 50 | 27 | 11 | 13 | 5 | 3 | 294 |
| ΔW_{fen} | 1966 | 0 | 0 | 0 | -5 | 14 | -17 | -26 | 4 | -14 | 0 | 0 | 0 | -24 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | 57 | -51 | 14 | 20 | 36 | 23 | 9 | 0 | 0 | 99 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | 15 | -44 | -27 | 29 | 12 | 16 | 18 | 0 | 0 | 9 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | -42 | 34 | -56 | -6 | 76 | 22 | 62 | 0 | 0 | 48 |
| | 1970 | 0 | 0 | 0 | 0 | -55 | 3 | 55 | 71 | -12 | -4 | -5 | 0 | 125 |
| | 1971 | 0 | 0 | 0 | 16 | -62 | -42 | 1 | 79 | -4 | 11 | 0 | 0 | -21 |
| | 1972 | 0 | 0 | 0 | 21 | -40 | 2 | -42 | 28 | 8 | 2 | -9 | -3 | -12 |
| | 1973 | -2 | -1 | -1 | -205 | -116 | -7 | 83 | -6 | -5 | 24 | 0 | 0 | -269 |
| 1974 | 0 | 0 | 0 | 38 | -37 | -43 | -40 | 41 | 68 | 0 | 0 | 0 | 50 | |
| $\mu_{fen} \Delta Z_{fw}$ | 1966 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12 | -11 | -20 | -27 | 0 | 0 | 0 | 0 | -43 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | 87 | 15 | -7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | 26 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | 74 | 88 | -12 | -15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 135 |
| ΔW_{fg} | 1966 | 0 | 0 | 0 | -8 | 1 | -5 | -6 | 31 | -14 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| | 1967 | 0 | 0 | 0 | -30 | -65 | 21 | 20 | 36 | 23 | 9 | 0 | 0 | 4 |
| | 1968 | 0 | 0 | 0 | -11 | -39 | -27 | 29 | 12 | 16 | 18 | 0 | 0 | -11 |
| | 1969 | 0 | 0 | 0 | -116 | -54 | -43 | 10 | 76 | 22 | 62 | 0 | 0 | -87 |

Сравнение результатов расчета показало, что сток с болот составляет примерно 161 % от суммарного стока с водосбора р. Баксы, а испарение с болот – около 83 % от суммарного испарения с поверхности водосбора. Следствием более высоких значений слоя стока на болоте является накопление воды на его границе, что способствует заболачиванию суходолов. Характер водообмена болота с подземными водоносными горизонтами определяется сперва некоторым накоплением воды в период снеготаяния, затем притоком (в мае–июне) подземных вод с прилегающих неболотных территорий и увеличением инфильтрации в августе–октябре (табл. 4.1.2, рис. 4.1.1).

С использованием параметров в уравнениях (2.6, 2.8, 2.12, 2.28), полученных для водосбора р. Баксы, выполнена оценка элементов водного баланса Обского болота и его водосбора за 1966–2019 гг. Проверка на однородность выборок за периоды 1966–1992 гг. и 1993–2019 гг. показала, что значимое изменение отмечено только для расчетных слоев водного стока с болота: фактическое значение критерия Стьюдента $k_S=2,17$ при критическом значении $k_{S,5\%}=2,01$. Нарушение однородности также отмечено при разделении ряда 1966–2019 гг. на границе с 1982 по 1986 гг. и с 1989 по 1994 гг., однако при разделении ряда по годам за пределами указанных интервалов гипотеза об однородности не отвергнута.

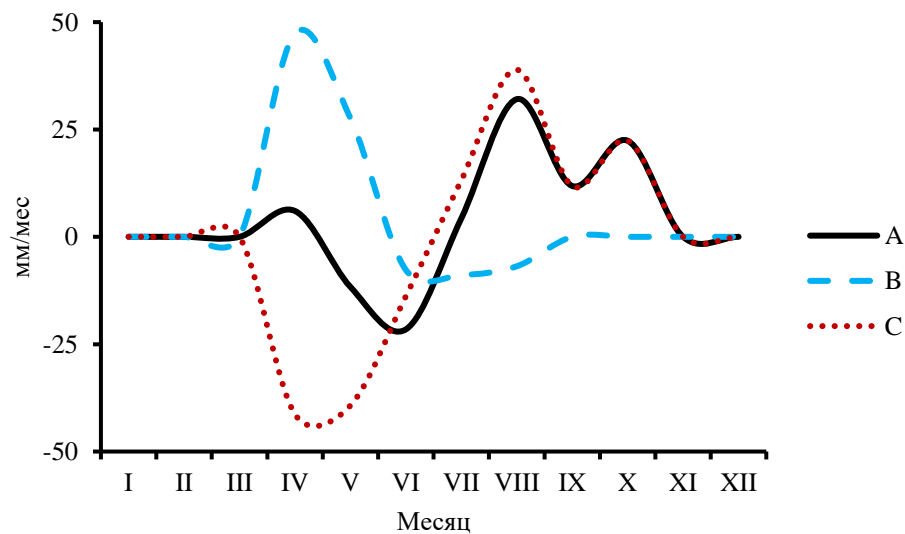


Рис. 4.1.1 – Внутригодовое изменение (в среднем за многолетний период) влагозапасов (A), водоотдачи из торфяной залежи (B) и водообмена между болотными и подземными водами (C) на Баксинском болоте; расчет по уравнению (2.19)

Для величины ΔW значимые изменения не выявлены для всего ряда 1966–2019 гг. С учетом этого указанный период ориентировочно можно рассматривать как однородный с точки зрения условий формирования водного режима Обского болота. Для Обского болота, также как и для Баксинского, испарение с болота меньше испарения с водосбора в целом, а сток, напротив, больше, но уже не на 161 %, а только на 105 % (табл. 4.1.3). Коэффициенты влагопроводности торфов резко возрастают во время весеннего половодья, но в Баксинском болоте уже в июле они резко снижаются, тогда как в Обском болоте достаточно их высокие значения (k_{fw}) сохраняются на начало зимней межени (рис. 4.1.2).

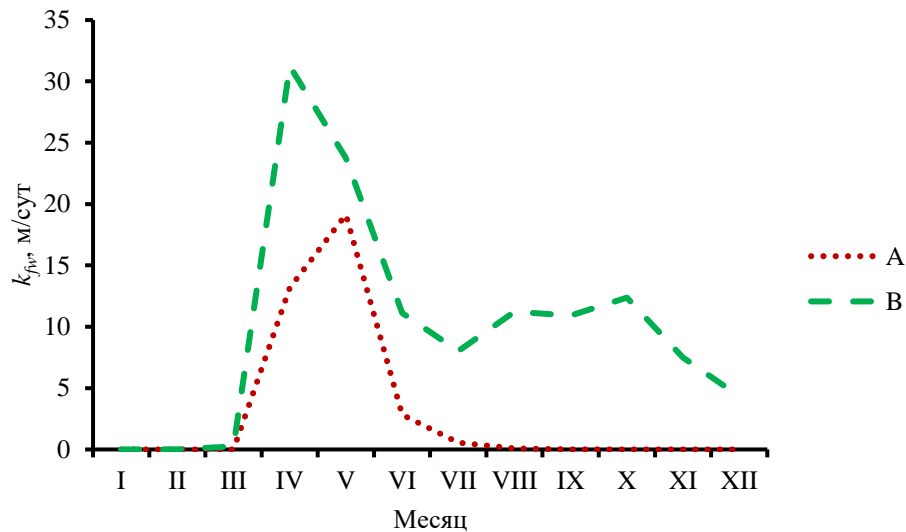


Рис. 4.1.2 – Внутригодовое изменение (в среднем за многолетний период) коэффициентов влагопроводности k_{fw} (2.22) торфов Баксинского (А) и Обского (В) болот

Безусловно, выполненные расчеты сопряжены со значительными погрешностями (с учетом погрешностей измерения исходных величин – до 10–20 % [Мелиорация и водное хозяйство..., 1988]), но все же можно предположить, что расположение болота в долине такой большой реки, как Обь, оказывает существенное влияние на его водный режим, фильтрационные свойства торфов и, как следствие, эволюцию всей болотной экосистемы. В частности, долинное Обское болото, в сравнении с Баксинским, в большей степени ограничено в дальнейшем территориальном расширении и характеризуется более интенсивным водообменом с подземными горизонтами.

Таблица 4.1.3. Средние арифметические A , погрешности их определения δ_A (2.29), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s) значений элементов месячного и годового водного баланса водосбора (без индекса) и непосредственно Обского болота (индекс «fen»): эффективного увлажнения H (2.17), водного стока Y (2.28), испарения E (2.5, 2.6, 2.12), изменений влагозапасов ΔW

| Параметр, мм | Статистика | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | X-IX |
|--------------|-----------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| H | A , мм | 0 | 0 | 1 | 139 | 95 | 63 | 72 | 68 | 47 | 41 | 0 | 0 | 526 |
| | δ_A , мм | 0,00 | 0,01 | 0,32 | 12,22 | 10,17 | 3,51 | 4,91 | 4,13 | 3,59 | 3,76 | 0,00 | 0,00 | 11,61 |
| | C_v | – | 7,35 | 2,56 | 0,64 | 0,79 | 0,41 | 0,50 | 0,44 | 0,56 | 0,68 | – | – | 0,16 |
| | C_s | – | 7,35 | 2,74 | –0,35 | 1,22 | 0,73 | 0,33 | 0,11 | 1,33 | 0,02 | – | – | 0,11 |
| Y | A , мм | 0 | 0 | 0 | 45 | 36 | 16 | 12 | 15 | 14 | 18 | 11 | 6 | 174 |
| | δ_A , мм | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 4,18 | 3,22 | 2,31 | 2,14 | 1,80 | 1,93 | 1,72 | 1,02 | 0,60 | 10,19 |
| | C_v | – | 7,35 | 2,55 | 0,69 | 0,65 | 1,06 | 1,29 | 0,86 | 0,98 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,43 |
| | C_s | – | 7,35 | 2,72 | –0,05 | 0,52 | 1,16 | 1,23 | 0,28 | 1,49 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,24 |
| Y_{fen} | A , мм | 0 | 0 | 0 | 47 | 38 | 17 | 13 | 16 | 15 | 19 | 11 | 7 | 182 |
| | δ_A , мм | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 4,38 | 3,38 | 2,43 | 2,24 | 1,89 | 2,02 | 1,80 | 1,07 | 0,63 | 10,68 |
| | C_v | – | 7,35 | 2,55 | 0,69 | 0,65 | 1,06 | 1,29 | 0,86 | 0,98 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,43 |
| | C_s | – | 7,35 | 2,72 | –0,05 | 0,52 | 1,16 | 1,23 | 0,28 | 1,49 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,24 |
| E | A , мм | 4 | 5 | 12 | 35 | 70 | 85 | 78 | 54 | 38 | 21 | 7 | 4 | 414 |
| | δ_A , мм | 0,16 | 0,19 | 0,42 | 1,43 | 2,09 | 2,76 | 2,54 | 1,68 | 1,31 | 0,79 | 0,23 | 0,15 | 6,58 |
| | C_v | 0,30 | 0,29 | 0,26 | 0,30 | 0,22 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,25 | 0,28 | 0,26 | 0,25 | 0,12 |
| | C_s | –0,20 | 0,34 | 0,73 | –0,27 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,06 | 0,55 | 0,02 | 0,70 | 0,29 | 0,40 |
| E_{fen} | A , мм | 4 | 5 | 12 | 78 | 88 | 70 | 50 | 30 | 20 | 12 | 7 | 4 | 379 |

Продолжение таблицы 4.1.3.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | δ_A , мм | 0,16 | 0,19 | 0,42 | 4,57 | 2,27 | 2,08 | 1,62 | 0,90 | 0,67 | 0,35 | 0,23 | 0,15 | 6,37 |
| | C_V | 0,30 | 0,29 | 0,26 | 0,43 | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,22 | 0,25 | 0,22 | 0,26 | 0,25 | 0,12 |
| | C_S | -0,20 | 0,34 | 0,73 | -0,93 | 0,85 | 0,19 | 0,40 | 0,04 | 0,56 | 1,25 | 0,70 | 0,29 | 0,05 |
| ΔW | A , мм | 0 | 0 | 1 | 64 | -12 | -39 | -19 | -2 | -5 | 5 | -11 | -6 | -24 |
| | δ_A , мм | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 6,04 | 8,24 | 3,94 | 5,07 | 3,88 | 3,01 | 2,24 | 1,02 | 0,60 | 6,68 |
| | C_V | - | 7,35 | 2,56 | 0,69 | -5,08 | -0,75 | -1,97 | -17,96 | -4,14 | 3,32 | -0,71 | -0,71 | -2,05 |
| | C_S | - | 7,35 | 2,74 | -0,05 | 1,05 | -0,05 | -0,26 | -0,16 | 0,15 | -0,30 | -0,22 | -0,22 | -1,56 |
| ΔW_{fen} | A , мм | 0 | 0 | 1 | 20 | -31 | -24 | 9 | 22 | 12 | 13 | -11 | -7 | 3 |
| | δ_A , мм | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 4,94 | 7,53 | 3,56 | 4,35 | 3,42 | 2,52 | 2,45 | 1,07 | 0,63 | 6,60 |
| | C_V | - | 7,35 | 2,56 | 1,85 | -1,79 | -1,09 | 3,66 | 1,15 | 1,51 | 1,40 | -0,71 | -0,71 | 14,38 |
| | C_S | - | 7,35 | 2,74 | 0,67 | 1,02 | 0,05 | -0,09 | -0,11 | 0,37 | -0,63 | -0,22 | -0,22 | -0,56 |

Последнее обстоятельство обеспечивает постоянство водно-минерального питания болотной растительности. В Баксинском же болоте (точнее, на его отдельных участках, сложенных глинистыми грунтами) более вероятна постепенная кольматация пограничного слоя в нижней части торфяной залежи с постепенным распространением растительности, лучше приспособленной к мезотрофным и затем олиготрофным условиям. Все это может приводить к формированию среди пространства евтрофных болот островов олиготрофного ряма (сосново-сфагново-кустарничковых верховых болот), подробное описание которых приведено, например, в [Leonova et al., 2020].

Результаты расчета водообмена между подземными водами и водами Баксинского и Обского болот в целом согласуются с расчетами по уравнению (2.30) инфильтрации на междуречье рек Обь и Шегарка (рис. 4.1.3). В период весеннего половодья в результате таяния снега, водоотдачи из снегового покрова и оттаивания сезонно промерзших грунтов снеготаяния происходит увеличение влажности и коэффициентов влагопроводности грунтов и водоотдачи из торфяных болот (рис. 4.1.1).

При этом скорость условно горизонтального перемещения водных масс на поверхности и в подземных водоносных горизонтах в русловую сеть и понижения рельефа превышает скорость инфильтрации. Это приводит к снижению удельной инфильтрации на междуречном пространстве на фоне общего увеличения уровней подземных вод и отсутствия подпора от р. Оби (рис. 4.1.3).

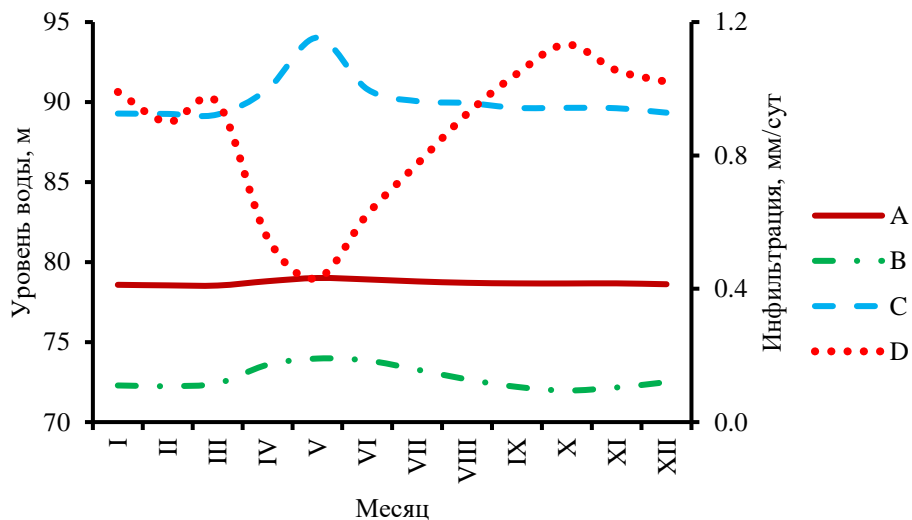


Рис. 4.1.3 – Внутригодовое изменение (в среднем за многолетний период) уровней подземных (A) и речных вод (B – р. Обь у с. Победа; C – р. Шегарка у с. Бабарькино), инфильтрации в междуречье Обь–Шегарка (D)

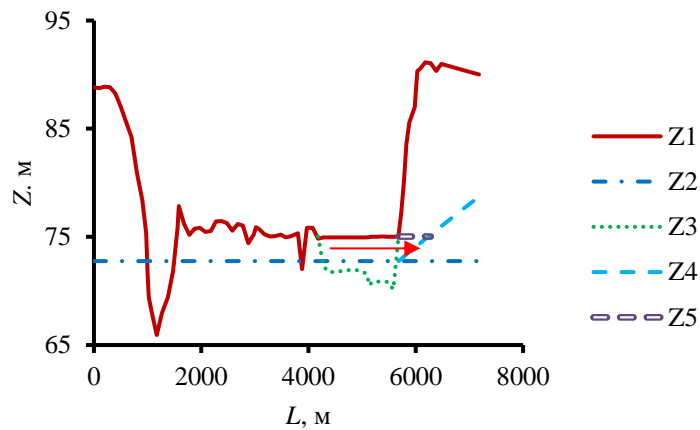
Максимумы же инфильтрации приурочены к осеннему периоду (рис. 4.1.1, 4.1.3, табл. 4.1.2, 4.1.3), когда совпадают три условия: 1) эффективное атмосферное увлажнение (дожди в конце лета и осенью при снижении испарения); 2) относительно благоприятные фильтрационные свойства грунтов (отсутствие пересыхания и перемерзания верхних слоев геологического разреза); 3) освобождающаяся емкость подземных горизонтов. Отсутствие какого-либо из указанных факторов приводит к нестабильному и плохо прогнозируемому поступлению влаги в подземные водоносные горизонты, о чем косвенно свидетельствуют отрицательные результаты подбора регрессионных зависимостей инфильтрации по уравнению (2.30) от различных климатических и гидрологических факторов ($R^2 < 0,36$).

Сопоставление среднемесячных уровней подземных вод в палеоген-четвертичном горизонте у с. Мельниково, уровней воды р. Оби у с. Победы и р. Шегарки у с. Бабарыкино (составной схематичный разрез по данным (а) нивелировки долины р. Оби вдоль дороги Томск–Мельниково, (б) опробования торфяной залежи, выполненного у сел Мельниково и Нащеково в 2002–2018 гг. [Savichev et al., 2020; Иванова и др., 2020] и (в) поперечного профиля Обского болота в районе с. Нащеково [Shipper et al., 2007]) подтвердило преобладание нисходящего режима взаимодействия подземных вод водоносных отложений палеогенового возраста и вод р. Оби (рис. 4.1.4).

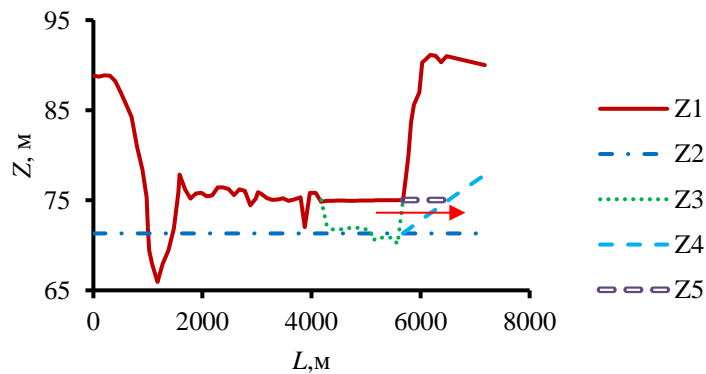
В то же время выявлен ряд важных особенностей. Во-первых, можно предположить, что развитие Обского болота ограничено амплитудой колебания уровней воды р. Оби с учетом продолжительности их стояния, при которых происходит береговая инфильтрация и фильтрация воды в пойме. Во-вторых, при низких и средних значениях уровня воды в р. Оби поверхность Обского болота выше отметки сопряжения уровней подземных и речных вод (рис. 4.1.4). Вследствие этого существует высокая вероятность фильтрации болотных вод в сторону с. Мельниково на расстояние до 840 м (расчет по уравнению (2.30) при отсутствии инфильтрации: расчетный минимальный среднемесячный уровень воды в скв. 63р $Z_g=77,82$ м; минимальный среднемесячный уровень воды в р. Оби $Z_r=71,32$ м; уровень болотных вод на границе болота $Z_f=75,03$ м; расстояние от границы болота до скважины $L_{gf}=1500$ м; расстояние x от границы болота до пересечения горизонта болотных вод и кривой депрессии подземных вод от скв.63р при допущении что в алювиальных отложениях речной долины вплоть до границы болота уровень подземных вод устанавливается такой же, как и в реке: $x=L_{gf}-x_1=1500-660=840$ м; x_1 – расстояние от скважины 63р до отметки уровня подземных вод, равной уровню болотных вод $Z_f=75,03$ м: $x_1 = 1500 \cdot \frac{77,82^2 - 75,03^2}{77,82^2 - 71,32^2} \approx 660$ м). Расчетная схема оценки влияния болотных вод на подземные приведена на рис. 4.1.5. Фактически, расстояние от границы болота до точки соприкосновения поверхности кривой депрессии подземных вод от водораздела к р. Обь и от границы Обского болота в сторону водораздела меньше (рис. 4.1.6), но с учетом использования

месячных интервалов зона влияния болота может быть оценена в размере 800–900 м (при использовании минимального суточного уровня воды р. Обь за 1965–2015 гг. в размере 70,83 м (02.12.2008 г.) при тех же прочих условиях $x=884$ м).

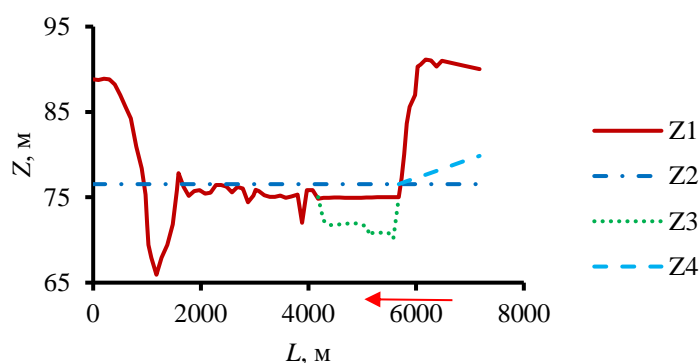
При очень высоких уровнях воды возможен сценарий, при котором по мере спада половодья пойменные воды сливаются с болотными, вымывают часть органики из торфяной залежи и выносят их в русловую сеть, что подтверждается данными о химическом составе компонентов пойменных экосистем не только на Обском болоте в Западной Сибири, но и в других регионах мира [Shipper et al., 2007; Kreiling et al., 2015].



a



b



с

Рис. 4.1.4 – Схематичный поперечный профиль долины р. Оби у с. Мельниково; L – расстояние от условного начала на правом берегу р. Оби (с. Победа); высотные отметки Z (м в Балтийской системе координат): $Z1$ – поверхность водосбора, дна р. Оби, ее проток и стариц, поверхности Обского болота; $Z2$ – среднемесячный уровень воды в р. Оби (за 1967–2015 гг.: a – среднегодовое; b – минимальный среднемесячный; c – максимальный среднемесячный); $Z3$ – дно Обского болота; $Z4$ – уровень кривой депрессии от скважины б3р у с. Мельниково; $Z5$ – уровень болотных вод, при котором возможен их переток в водоносные отложения четвертичного возраста на границе болота (расстояние по оси абсцисс – зона влияния болотных вод); стрелками показаны направления возможных перетоков

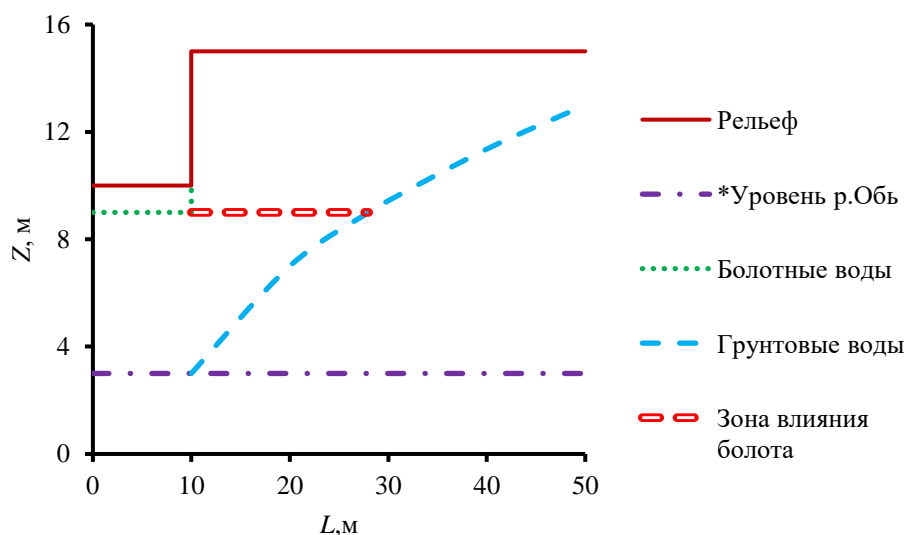


Рис. 4.1.5 – Схема определения зоны потенциального перетока болотных вод в отложения четвертичного возраста на границе болота как расстояния от границы от границы болота до пересечения поверхности, соответствующей минимальному уровню р. Обь* и кривой депрессии подземных вод в межень

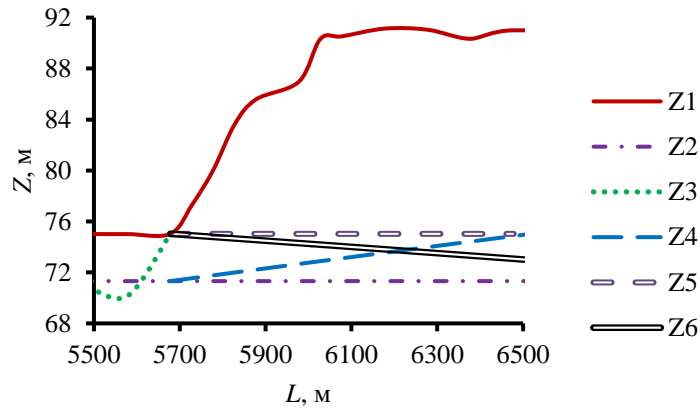


Рис. 4.1.6 – Фрагмент схематического поперечного профиля долины р. Оби у с. Мельниково при минимальном среднемесечном уровне воды р. Обь; L – расстояние от условного начала на правом берегу р. Оби (с. Победа); высотные отметки Z (м в Балтийской системе координат): $Z1$ – поверхность водосбора, дна р. Оби, ее проток и стариц, поверхности Обского болота; $Z2$ – среднемесечный уровень воды в р. Оби (за 1967–2015 гг.); $Z3$ – дно Обского болота; $Z4$ – уровень кривой депрессии от скважины 63р у с. Мельниково; $Z5$ – уровень болотных вод, при котором возможен их переток в водоносные отложения четвертичного возраста на границе болота (расстояние по оси абсцисс – зона максимально возможного влияния болотных вод); $Z6$ – уровень кривой депрессии от поверхности болотных вод до соприкосновения с поверхностью при уровне $Z2$; расстояние от границы болота до пересечения $Z5$ и $Z4$ – 840 м, до пересечения $Z6$ и $Z4$ – 539 м

В-третьих, расчетное значение коэффициента фильтрации $k_{f0}=9,88$ м/сут может рассматриваться как средневзвешенное по мощности водоносных отложений. С учетом средних значений фильтрационных свойств этих отложений по разрезу междуречья Икса–Шегарка–Обь [Горохова, Зятева, 2001; Колоколова, 2003; Гидрогеология СССР, Т.16, 1970; Состояние геологической..., 2019] глубина зоны активного и условно активного взаимодействия поверхностных и подземных вод составляет 110–120 м (рис. 4.1.7) и на значительной части этой территории ограничена снизу малопроницаемыми глинистыми отложениями палеогенового возраста.

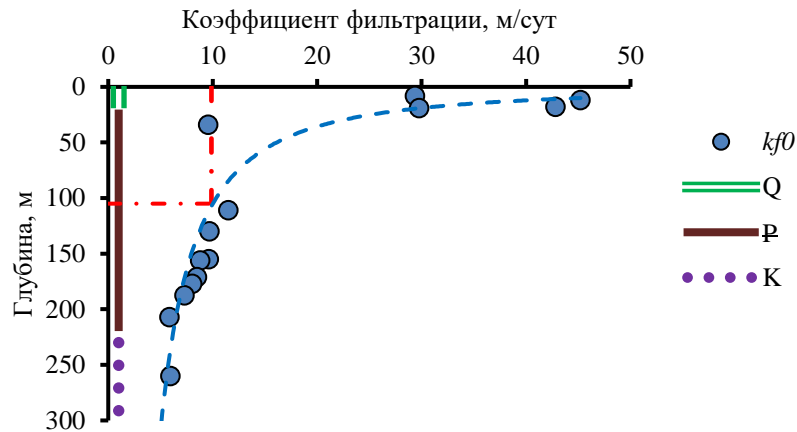


Рис. 4.1.7 – Изменение средневзвешенного (по мощности отложений) коэффициента фильтрации k_{f0} : $k_{f0}=130,861 \cdot Z^{-0,545}$, где Z – глубина; $R^2=0,85$; при $k_{f0}=9,88$ м/сут (по результатам сопоставления расчетов водного баланса и кривой депрессии подземных вод между р. Обь и Шегарка с учетом данных по скв. 63р) $Z=114$ м; возраст отложений: Q – четвертичный период; P – палеоген; K – мел; пунктиром показана схема определения глубины активного водообмена по значению $k_{f0}=9,88$ м/сут, полученному при решении уравнения Дюпюи

4.2. Оценка взаимосвязей уровней болотных и подземных вод

Апробация модели (2.32–2.39) при допущении сопряжения кривой депрессии подземных вод с поверхностью болотных вод на границе болота показала удовлетворительную сходимость (критерий (2.20) менее 0,1) с наблюдаемым состоянием Обского болота по состоянию на 18 марта и 16 октября 2021 г. в пунктах опробования торфяной залежи и в узловых точках расчетного профиля. Один из выводов, который можно сделать по результатам анализа расчетного профиля в разные месяцы гидрологического года (как в 2021 г., так и в среднем за многолетний период), заключается в том, что поверхность Обского болота в целом соответствует кривой депрессии подземных вод (рис. 4.2.1). Следовательно, эволюция болотной экосистемы контролируется условиями взаимодействия подземных, речных и болотных вод.

Другой, не менее важный вывод заключается в том, что на границе Обского болота с суходолом возможны разнонаправленные движения болотных вод как в сторону Оби, так и в сторону водораздела при сопряжении кривой депрессии подземных вод не только с поверхностью при минимальном уровне воды в р. Обь (рис. 4.1.4b; гипотетический сценарий), но и с фактически наблюдаемой поверхностью болотных вод на границе болота, что формально соответствует отрицательным значениям проводимости деятельного горизонта торфяной залежи. Последнее обстоятельство, в свою очередь, приводит к выводу о том, что в ряде случаев

возможны колебательные изменения уровня болотных вод при решении уравнения подпертой фильтрации.

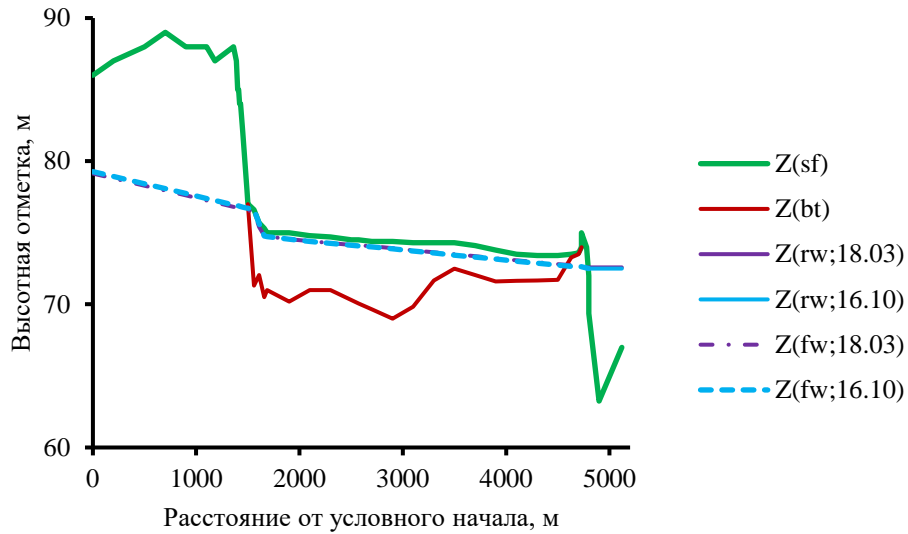


Рисунок 4.2.1 – Расчетный профиль Обского болота при допущении сопряжении кривой депрессии подземных вод с поверхностью болотных вод нисходящем режиме взаимодействия подземных и поверхностных вод; $Z(sf)$ – высотная отметка земной поверхности; $Z(bt)$ – отметка дна болота; $Z(rw; 18.03)$ и $Z(rw; 16.10)$ – уровень воды реки Обь в створе расчетного профиля (72,58 м и 72,50 м, соответственно); $Z(fw; 18.03)$ и $Z(fw; 16.10)$ – уровень болотных вод

Так, если принять, согласно [Шестаков, 2009; Рекомендации по методике..., 1983], что изменение удельного расхода воды описывается уравнением (4.2.1), то при переменной проводимости потока $k_{fg} \cdot m_g$ в водоносных отложениях изменение уровней воды соответствует уравнению (4.2.2). Его решением, согласно [Корн, Корн, 2013; Зельдович, Мышкис, 1972], при комплексных значениях корней характеристического уравнения будет выражение (4.2.3) с периодом колебаний $\tau = \frac{2 \cdot \pi}{\beta}$:

$$\frac{dq_t}{dx} = \frac{k_{fn}}{m_n} \cdot (Z_t - Z_{fw,t}), \quad (4.2.1)$$

$$\frac{\partial^2 Z_t}{\partial x^2} + \left(\frac{1}{k_{fg} \cdot m_g} \cdot \frac{d k_{fg} \cdot m_g}{dx} \right) \cdot \frac{\partial Z_t}{\partial x} - \left(\frac{k_{fn}}{m_n \cdot k_{fg} \cdot m_g} \right) \cdot (Z_t - Z_{fw,t}) = 0, \quad (4.2.2)$$

$$Z_t = Z_{fw,t} + e^{-\gamma \cdot x} \cdot (Z_1 \cdot \cos(\beta \cdot x) + Z_2 \cdot \sin(\beta \cdot x)), \quad (4.2.3)$$

$$\gamma = \frac{1}{2 \cdot k_{fg} \cdot m_g} \cdot \frac{d k_{fg} \cdot m_g}{dx}, \quad (4.2.4)$$

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{k_{fn}}{m_n \cdot k_{fg} \cdot m_g} \right) - \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{k_{fg} \cdot m_g} \cdot \frac{d k_{fg} \cdot m_g}{dx} \right)^2}, \quad (4.2.5)$$

где q_t – удельный расход воды через торфяную залежь (по аналогии с относительно водонепроницаемым слоем) мощностью m_n и с коэффициентом фильтрации k_{fn} ; Z_t и $Z_{fw,t}$ – напорный уровень подземных вод и уровень болотных вод.

Уточненный профиль пограничного участка Обского болота представлен на рис. 4.2.2. Его интерпретация заключается в констатации возможности поступления подземных вод с более высокой минерализацией и содержанием Cl^- в разные месяцы гидрологического года и в разных частях Обского болота, что в общих чертах и подтверждается результатами гидрогеохимических наблюдений [Савичев и др., 2022], приведенными далее (этап IV).

В то же время, необходимо отметить потенциальный характер указанного выше взаимодействия болотных и подземных вод. Фактически влияние подземных вод ограничено нижней частью торфяной залежи, что может объясняться характером изменения фильтрационных свойств торфов (расчетные значения коэффициентов фильтрации торфов: 0,579 м/сут в верхнем метровом слое; 0,195 м/сут – в слое 1,0 – 2,0 м от поверхности; 0,052 м/сут – в слое 2,0 – 3,0 м; 0,008 – 0,031 м/сут в слое от 3,0 до 4,25 м), благодаря чему: 1) накопление хлоридов 18 марта 2021 г. приурочено к интервалу 3,50 – 4,25 м, сложенному низинным древесным переувлажненным торфом; 2) собственно расчет распространения индикаторных веществ по торфяной залежи можно ограничить участком торфяной залежи от ее поверхности до глубины 3 м, сформированным преимущественно низинным осоково-гипновым торфом; 3) в пределах этого участка адвективный перенос значим (с учетом уровней болотных вод у средней поверхности болота) в основном в слое очеса, а основной механизм переноса загрязняющих веществ по торфяной залежи – диффузионный с учетом процессов сорбции и растворения – осаждения [Лиштван, Базин, Косов, 1989]; 4) участок торфяной залежи от 3,0 до 3,5 м, сложенный низинным осоковым торфом, можно рассматривать как локальный водоупор (примечание – только в расчетном профиле Обского болота, что не исключает более значительных фильтрационных свойств осокового торфа и отсутствие указанного водоупора на других участках Обского болота), в пределах которого преобладает взаимодействие «вода – органическое вещество – газ – минеральные включения» с практически отсутствием адвективного (конвективного) переноса и минимальным диффузионным переносом.

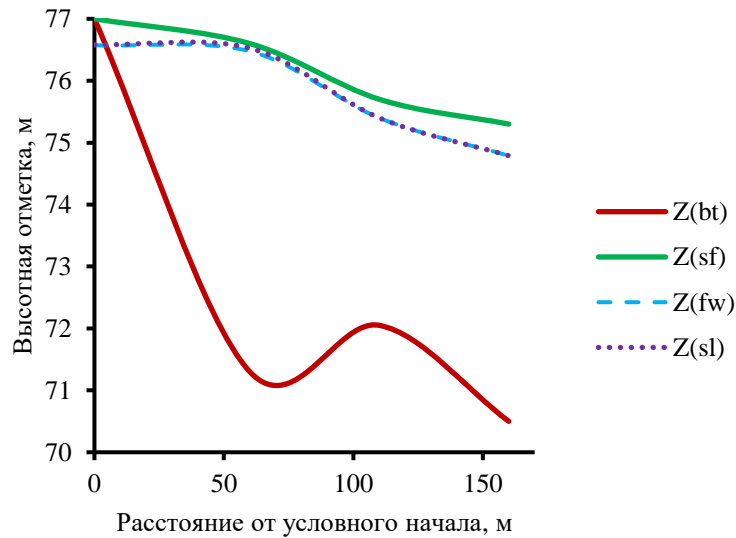


Рисунок 4.2.2 – Уточненный расчетный профиль участка Обского болота на границе с суходолом по состоянию на 18.03.2021 г.; Z(bt) – отметка дна болота; Z(sf) – отметка поверхности болота; Z(fw) – уровень болотных вод; Z(sl) – напорный уровень подземных вод

4.3. Обобщение результатов анализа водного баланса ветландов

Таким образом, выполнена количественная оценка элементов водного баланса Баксинского и Обского болот, а также их водосборов (табл. 4.2.1–4.2.3). Установлено, что при заболачивании с преимущественным распространением низинных болот происходит уменьшение испарения с поверхности и увеличение слоя водного стока. Это приводит к дополнительному переувлажнению примыкающих к болотам суходолом и дальнейшему заболачиванию территории. Ранее аналогичный вывод был получен для олиготрофных участков Васюганского болота в водосборе р. Чая (приток р. Оби) [Савичев, 2010].

На эволюцию болотных экосистем при прочих равных условиях существенное влияние оказывает геоморфологическое положение, размер и водный режим рек. Так, развитие Обского болота ограничено рельефом речной долины и амплитудой колебания уровней воды одной из крупнейших рек в мире (р. Оби), обеспечивающих благоприятные условия для развития евтрофной болотной растительности. Для Баксинского болота, расположенного и в долинах малых водотоков и на их водоразделах, характерны условия для развития не только евтрофной, но и мезотрофной растительности.

Следует также отметить, что сравнение полученных данных по Обскому болоту с опубликованными данными по водосбору озера Поян [Song et al., 2023] свидетельствует в целом о сходных гидрологических и гидрогеологических процессах, в результате которых возможно

разнонаправленные потоки между подземными и водными объектами. В обоих случаях имеется:

- 1) большой поверхностный водный объект, являющийся региональной дренажной, водосборная территория со стоком в направлении в направлении этой дрены и промежуточная территория между ними, водный режим которой зависит и от водного режима дрены, и от водного режима поверхностных и подземных вод водосбора;
- 2) водный режим поверхностного водного объекта (региональной дрены) формируется под влиянием природных и антропогенных факторов, включая регулирование стока (Новосибирский гидроузел на р. Обь или гидротехнические сооружения на р. Янцзы, в которую поступает сток из озера Поян);
- 3) на промежуточной территории сформировались водно-болотные угодья (включая болота), которые взаимодействуют с поверхностным водным объектом – дренажной и водосбором, что проявляется в водном режиме этих объектов и появлении временного лага между изменениями водного режима поверхностных и подземных вод.

5. Анализ гидрогеохимических условий взаимодействия подземных и болотных вод

Анализ гидрогеохимических условий взаимодействия подземных и болотных вод заключался в оценке возможности миграционных потоков в системе «болото – подземный водоносный горизонт» в различных природных условиях (в Томской области Российской Федерации и провинции Цзянси Китайской народной республики) путем расчета статистических параметров гидрогеохимических показателей и проверки на однородность по среднему и дисперсии выборок для подземных вод в отложениях разного возраста и вод болот разных типов. Отсутствие статистически значимых отличий между сравниваемыми выборками является основанием для вывода о наличии связей между водными объектами с принятым уровнем значимости (5%). Дополнительно проводились анализ распределения ряда веществ по глубине торфяной залежи в Томской области и сопоставление концентраций в рядом расположенных пунктах наблюдений за грунтовыми водами и водами ветландов в водосборе озера Поян.

5.1. Болота юго-востока Западной Сибири

С целью выявления взаимосвязей между химическим составом подземных и болотных вод были использованы материалы гидрогеохимических исследований, выполненных в разное время в ТПУ и сгруппированных в виде трёх основных блоков – участков геологической среды в районе расположения болот [Савичев и др., 2022]:

1) верховой (олиготрофный) водораздельный участок Васюганского болота у с. Польшанка (водосбор реки Ключ – элемента речной сети «Ключ – Бакчар – Чая – Обь») с привлечением гидрогеологических данных на участке от с. Польшанка до с. Бакчар; само Васюганское болото или, точнее, Васюганский болотный комплекс, – один из крупнейших в мире, площадь которого превышает 50 тыс. км² и продолжает увеличиваться в настоящее время; в его состав входят болота верхового, переходного и низинного типов; нами выбран участок примерно в 160 км от г. Томска (93 км по автодороге Томск–Бакчар), включающий комплекс сопряженных болотных экосистем переходной (мезотрофной) окраины на границе с заболоченным смешанным лесом, верховых сосново-сфагново-кустарничкового болота (региональное название – «рям»), грядово-мочажинного (ГМК) и грядово-мочажинно-озеркового (ГМОК) комплексов; мощность торфяной залежи, сложенной в значительной степени верховыми и переходными торфами, мощностью до 4,5 м, в среднем – 2,8 м; на прилегающем с юга участке Васюганского торфяного месторождения № 5 максимальная мощность залежи составляет 5,3 м при среднем значении 1,95 м; торфа – верховые, переходные, низинные, смешанные: средние

значения степени разложения торфов 22 %, зольности 6 %, влажности 90,1 % [Савичев и др., 2018; Savichev et al., 2019, 2020];

2) переходное (мезотрофное сфагново-кустарничково-сосновое) Тимирязевское болото (условное название, принятое авторами), расположенное в 2 км на юго-запад от п. Тимирязево и 3,5 км на запад от г. Томска, в левобережной части долины р. Томи; болото залегает на аллювиальных отложениях второй надпойменной террасы р. Томи, представленных песками, супесями, суглинками; мощность торфяной залежи – до 4,8 м [Савичев, Шмаков, 2012; Савичев и др., 2021];

3) участки низинного (евтрофного) Обского болота у сел Нащекново (фоновый участок) и Мельниково (участок многолетнего сброса хозяйственно-бытовых стоков); болото расположено на первой надпойменной террасе в левобережной части долины реки Обь, имеет протяженность около 104 км, ширину 1,5–7,0 км; средняя и максимальная мощность торфяной залежи – около 3,2 и 6 м, соответственно; торфа – низинные, со степенью разложения 34 % и зольностью 28–29 %; широко распространены (в том числе, на исследуемых участках) осоково-гипновый, гипновый и берёзово-тростниковый типы болотных экосистем [Shipper et al., 2007; Савичев и др., 2019; Иванова и др., 2020; Savichev et al., 2020].

Выбор болотных объектов обусловлен их изученностью и типичностью для подтаежной и южно-таежной подзон Западной Сибири. Анализ имеющейся информации показал, что воды деятельного горизонта торфяной залежи верховых и переходных болот в ненарушенном состоянии в среднем за многолетний период – пресные с очень малой минерализацией, чаще гидрокарбонатные кальциевые III типа, в ряде случаев – сульфатные кальциевые II типа, низинных болот – пресные со средней и повышенной минерализацией, преимущественно гидрокарбонатные кальциевые III типа согласно классификации О.А. Алекина [Алекин, 1970]. Загрязненные воды низинного Обского болота (в среднем) – солоноватые, гидрокарбонатные натриевые I типа [Иванова и др., 2020]. Воды верховых и переходных болот – обычно кислые, низинных болот – слабокислые и нейтральные (по классификации [Молчанова и др., 2007]; табл. 1). Все болотные воды содержат большое количество органических веществ (воды с повышенной перманганатной окисляемостью), азота аммонийного и нитритного, железа (валовые концентрации) [Савичев, 2015].

Изученные грунтовые воды, приуроченные к четвертичным отложениям, – обычно пресные со средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые I и III типов, нейтральные или слабощелочные, артезианские воды отложений палеогена и воды зоны трещиноватости в палеозойских образованиях – пресные со средней и повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые I типа, также нейтральные или слабощелочные. Подземные воды в отложениях мела заметно отличаются от других подземных вод и в целом характеризуются как

пресные с повышенной минерализацией или солоноватые, гидрокарбонатные натриевые I типа или хлоридные натриевые I и III типов, слабощелочные. Все подземные воды имеют значительно меньшую, по сравнению с болотными водами, перманганатную окисляемость, но содержат сопоставимые валовые количества железа (табл. 5.1.1).

Таблица 5.1.1 – Средние арифметические (A) значения гидрогеохимических показателей подземных и болотных вод и погрешности их определения (δ_A)

| Район | Объект | Показатель | pH, ед. pH | Σ_{mi} , мг/дм ³ | NH ₄ ⁺ , мг/дм ³ | Fe, мг/дм ³ | ПО, мгО/дм ³ |
|----------------------|------------|------------|------------|------------------------------------|---|------------------------|-------------------------|
| Васюганское болото | ГМК | A | 4.86 | 32.1 | 2.26 | 1.29 | 88.36 |
| | | δ_A | 0.22 | 9.6 | 0.68 | 0.18 | 5.71 |
| | Рям | A | 4.44 | 30.6 | 4.24 | 2.09 | 89.09 |
| | | δ_A | 0.13 | 5.8 | 0.54 | 0.16 | 4.97 |
| | ПБ(В) | A | 4.80 | 68.1 | 2.12 | 2.12 | 100.26 |
| | | δ_A | 0.23 | 22.9 | 0.58 | 0.38 | 17.20 |
| | НБ(В) | A | 5.56 | 153.7 | 3.50 | 8.53 | 63.13 |
| | | δ_A | 0.47 | 77.1 | 0.66 | 4.44 | 9.54 |
| | ПВ(Q) | A | 7.19 | 350.5 | 0.55 | 2.21 | 3.41 |
| | | δ_A | 0.07 | 11.2 | 0.10 | 0.31 | 0.14 |
| | ПВ(Р) | A | 7.52 | 637.6 | 2.24 | 5.42 | 3.31 |
| | | δ_A | 0.15 | 23.5 | 0.34 | 1.43 | 0.42 |
| ПВ(К) | A | 8.10 | 878.3 | нд | 0.70 | 2.70 | |
| | δ_A | 0.29 | 31.2 | нд | 0.06 | 0.19 | |
| Тимирязевское болото | ПБ(Т) | A | 4.97 | 36.8 | 5.66 | 1.01 | 249.30 |
| | | δ_A | 0.44 | 9.9 | 1.70 | 0.08 | 93.62 |
| | ПВ(Q) | A | 7.17 | 474.2 | 0.75 | 3.04 | 3.11 |
| | | δ_A | 0.14 | 25.0 | 0.18 | 0.98 | 0.25 |
| | ПВ(Р) | A | 7.45 | 484.4 | 0.82 | 2.17 | 1.92 |
| | | δ_A | 0.05 | 18.6 | 0.07 | 0.16 | 0.17 |
| ПВ(К) | A | 8.00 | 750.2 | 1.00 | 4.80 | 1.60 | |

| | | | | | | | |
|------------------|--------|------------|------|--------|--------|-------|--------|
| | | δ_A | 0.59 | 55.8 | 0.00 | 0.22 | 0.20 |
| | ПВ(Pz) | A | 7.97 | 463.7 | 0.83 | 3.18 | 1.98 |
| | | δ_A | 0.13 | 34.3 | 0.19 | 0.67 | 0.31 |
| Обское болото | Стоки | A | 7.88 | 1379.4 | 101.17 | 4.22 | 141.84 |
| | | δ_A | 0.17 | 222.4 | 14.99 | 1.74 | 89.96 |
| | НБ(М) | A | 7.43 | 1153.7 | 31.27 | 33.52 | 77.55 |
| | | δ_A | 0.08 | 70.2 | 8.85 | 14.63 | 27.72 |
| | НБ(Н) | A | 7.36 | 578.6 | 1.36 | 19.62 | 36.55 |
| | | δ_A | 0.06 | 36.4 | 0.77 | 11.46 | 16.91 |
| | ПВ(Q) | A | 7.76 | 423.8 | 0.73 | 3.19 | 3.12 |
| | | δ_A | 0.17 | 58.3 | 0.49 | 0.91 | 2.69 |
| | ПВ(Р) | A | 7.59 | 726.8 | 1.20 | 1.48 | 2.44 |
| | | δ_A | 0.42 | 306.4 | 1.77 | 1.47 | 1.64 |
| | ПВ(К) | A | 7.48 | 2540.9 | 3.18 | 5.73 | 2.00 |
| | | δ_A | 0.27 | 27.3 | 0.40 | 1.31 | 0.35 |

Примечание: объекты исследования: ГМК – верховой грядово-мочажинный комплекс; рям – верховое болото с преобладанием в растительном покрове сосны, кустарничков и сфагновых мхов; ПБ – переходное болото, в том числе ПБ(В) – переходный участок Васюганского болота, ПБ(Т) – Тимирязевское болото; НБ – низинное болото, в т.ч. НБ(В) – низинный участок Васюганского болота, НБ(М) – загрязненное низинное болото у с. Мельниково, НБ(Н) – «фоновое» низинное болото у с. Нащекково; ПВ – подземные воды, в том числе в отложениях возраста: ПВ(Q) – четвертичного, ПВ(Р) – палеогенового, ПВ(К) – мелового, ПВ(Pz) – палеозойского; стоки – хоз.-бытовые сточные воды с. Мельниково; Σ_{mi} – сумма главных ионов; ПО – перманганатная окисляемость; «нд» – нет данных.

Проверка на однородность показала, что состояние болотных и подземных вод сопоставимо: 1) по величине рН – в случае подземных вод отложений четвертичного и мелового возрастов и вод низинного Обского болота; 2) по сумме главных ионов – для вод низинного Обского болота и подземных вод четвертичных отложений; 3) по содержанию Fe – для подземных вод отложений палеогена и вод низинного участка Васюганского болота (табл. 5.1.2, рис. 5.1.1, 5.1.2).

Таблица 5.1.2 – Отношения фактических и критических значений критериев Стьюдента (t) и Фишера (F) при уровне значимости 5 % между гидрогеохимическими показателями подземных и болотных вод в Томской области

| Показатель | Болотные воды | Подземные воды | | | | | | | |
|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | | ПВ(Q) | | ПВ(P) | | ПВ(K) | | ПВ(PZ) | |
| | | t_f/t_5 | F_f/F_5 | t_f/t_5 | F_f/F_5 | t_f/t_5 | F_f/F_5 | t_f/t_5 | F_f/F_5 |
| pH | ГМК | 5,81 | 0,53 | 4,94 | 0,57 | 3,45 | 8,62 | нд | нд |
| | «рям» | 9,83 | 0,69 | 7,12 | 0,75 | 5,82 | 9,54 | нд | нд |
| | ПБ(В) | 6,38 | 0,92 | 4,73 | 0,98 | 3,88 | 5,73 | нд | нд |
| | НБ(В) | 2,45 | 0,30 | 2,40 | 0,32 | 1,59 | 5,76 | нд | нд |
| | ПБ(Т) | 3,11 | 0,63 | 5,13 | 3,70 | 1,16 | 4,82 | 3,24 | 1,94 |
| | НБ(М) | 0,82 | 0,07 | 0,17 | 14,01 | 0,10 | 0,17 | нд | нд |
| | НБ(Н) | 1,18 | 0,13 | 0,22 | 25,69 | 0,28 | 0,31 | нд | нд |
| Σ_{mi} | ГМК | 5,20 | 7,16 | 10,31 | 3,42 | 8,65 | 39,34 | нд | нд |
| | «рям» | 8,12 | 8,02 | 15,73 | 3,83 | 13,58 | 44,08 | нд | нд |
| | ПБ(В) | 5,04 | 0,95 | 8,45 | 0,46 | 8,93 | 5,24 | нд | нд |
| | НБ(В) | 1,78 | 0,30 | 3,76 | 0,38 | 4,03 | 1,84 | нд | нд |
| | ПБ(Т) | 4,86 | 8,30 | 5,78 | 7,21 | 2,95 | 74,58 | 5,13 | 3,31 |
| | НБ(М) | 2,20 | 2,44 | 0,61 | 9,02 | 4,24 | 11,17 | нд | нд |
| | НБ(Н) | 0,91 | 0,49 | 0,19 | 40,22 | 12,23 | 2,25 | нд | нд |
| Fe | ГМК | 0,55 | 14,57 | 1,16 | 37,00 | 1,90 | 1,93 | нд | нд |
| | «рям» | 0,12 | 7,43 | 1,54 | 18,86 | 4,05 | 0,98 | нд | нд |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|--------------|----------------|-------------|-----------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| | ПБ(В) | 0,06 | 2,46 | 1,06 | 6,26 | 2,43 | 0,67 | нд | нд |
| | НБ(В) | 1,87 | 1,47 | <i>0,41</i> | <i>0,35</i> | 2,26 | 8,45 | нд | нд |
| | ПБ(Т) | 0,33 | 587,45 | 1,03 | 23,37 | 2,27 | 54,46 | 0,74 | 58,19 |
| | НБ(М) | 0,44 | 470,07 | 1,10 | 34,47 | 0,40 | 228,65 | нд | нд |
| | НБ(Н) | 0,33 | 198,56 | 0,88 | 14,56 | 0,28 | 96,58 | нд | нд |
| ПО | ГМК | 21,37 | 65,90 | 7,95 | 49,37 | 12,25 | 101,97 | нд | нд |
| | «рям» | 18,38 | 128,52 | 6,89 | 96,29 | 10,49 | 198,86 | нд | нд |
| | ПБ(В) | 6,67 | 1158,36 | 2,47 | 867,88 | 3,78 | 1792,39 | нд | нд |
| | НБ(В) | 13,85 | 30,65 | 5,13 | 22,97 | 8,07 | 47,43 | нд | нд |
| | ПБ(Т) | 2,06 | 9834,19 | 2,63 | 15064,41 | 2,88 | 8717,40 | 1,06 | 21229,49 |
| | НБ(М) | 0,57 | 194,04 | 1,10 | 149,16 | 0,50 | 15623,8 | нд | нд |
| | НБ(Н) | 0,46 | 49,67 | 0,91 | 38,18 | 0,41 | 3999,44 | нд | нд |

Примечание: t_f и F_f – фактические значения критериев Стьюдента и Фишера, соответственно; t_5 и F_5 – значения критериев Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5 %; соотношения $t_f/t_5 > 1$ и $F_f/F_5 > 1$ (выделены полужирным шрифтом) свидетельствуют об отклонении нулевой гипотезы об однородности рядов по среднему и дисперсии; курсивом выделены сопоставимые по составу выборки, красным – ключевой результат сравнения по сумме главных ионов; остальные обозначения приведены в табл. 5.1.1

Эти факты позволяют предположить, что, во-первых, статистически значимые взаимосвязи между гидрогеохимическими показателями подземных и болотных вод в подтаежной и южно-таежной подзонах Западной Сибири (на юге и юго-востоке Томской области) характерны в основном для низинных болот. Во-вторых, важное значение имеет приуроченность низинных болот к зонам нарушений, в пределах которых повышается вероятность разгрузки напорных подземных вод. В частности, именно с этим явлением связано достаточно высокое содержание растворенных солей в водах низинного Обского болота (табл. 5.1.1).

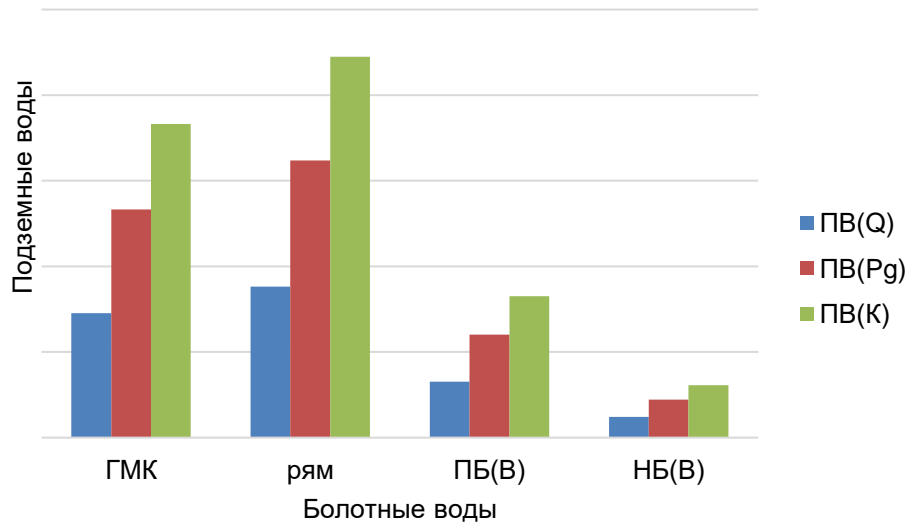


Рисунок 5.1.1 – Пространственная диаграмма отношения верхнего предела определения среднего арифметического значения суммы главных ионов в подземных водах к соответствующему показателю болотных вод в восточной части Васюганского болотного комплекса $(A_{ПВ} + 2 \cdot \delta_{A,ПВ}) / (A_{БЭ} + 2 \cdot \delta_{A,БЭ})$, где A и δ_A – среднее арифметическое и погрешность его определения; ПВ – подземные воды отложений мелового (К), палеогенового (Рг) и четвертичного (Q) возраста; болотные воды в верховых грядово-мочажинном комплексе (ГМК) и ряме, переходном (ПБ) и низинном (НБ) болотах [Свичев и др., 2022]; чем меньше отношение, тем меньше различия в составе, что может свидетельствовать о взаимосвязях болотных и подземных вод

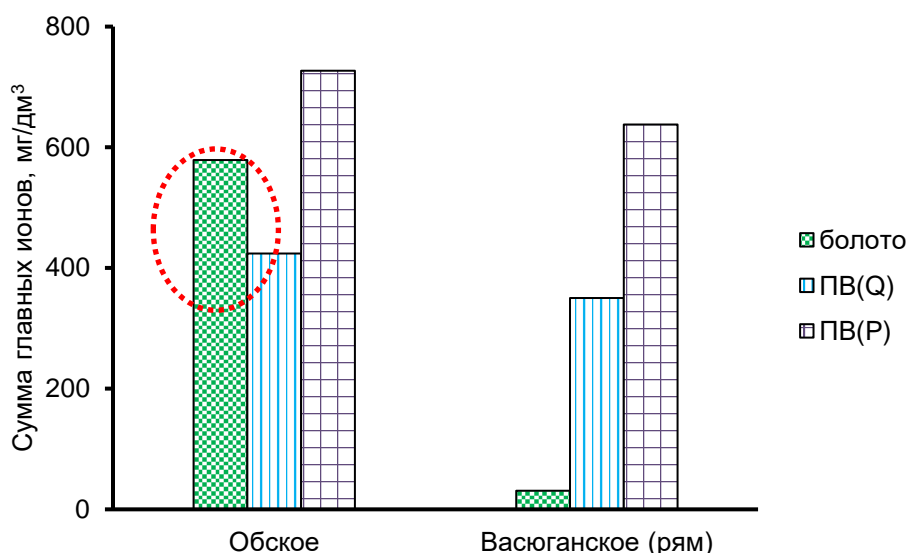


Рисунок 5.1.2 – Средние значения суммы главных ионов в водах низинного Обского болота и верхового участка (ряма) Васюганского болота и подземных водах на соответствующих прилегающих (к болоту) территориях; значения суммы главных ионов в водах Обского болота и грунтовых водах статистически не отличимы с уровнем значимости 5%: $t_{\bar{y}}/t_5=0,91$; $F_{\bar{y}}/F_5=0,49$ (табл. 5.1.2)

Для уточнения указанных выше предположений были изучены пространственные изменения химического состава вытяжек из торфов и подстилающих отложений на указанных выше участках Васюганского, Обского и Тимирязевского болот. Полученные при этом результаты, судя по удельной электропроводности водных вытяжек (рис. 5.1.3), в целом позволяют подтвердить вывод о наличии разгрузки напорных вод в притеррасной части Обского болота. Эти воды накапливаются как в деятельном горизонте, так и непосредственно в торфяной залежи в виде линз переобводненного торфа. Размеры линз изменяются в течение года и по площади болота, видимо, в зависимости от общих влагозапасов болота, поступления поверхностных и подземных вод с суходолов.

Влияние подземных вод прослеживается и на изменении с глубиной содержания общего железа, но заметное увеличение в придонных слоях отмечается не только для низинного болота, но и для болот других типов (рис. 5.1.4). При этом следует отметить, что ранее совместно с А.К. Мазуровым, М.А. Рудминым и рядом других исследователей было установлено, что в верхней части торфяной залежи преобладают минеральные формы железа в виде гидроокислов Fe^{3+} , а в нижней – пирит [Савичев и др., 2021; Savichev, Soldatova et al., 2020; Savichev et al., 2019; Savichev, Rudmin et al., 2020]. Отмечен ряд и других важных особенностей, в частности – увеличение вероятности обнаружения на нижней границе торфяной залежи на верховых участках болот карбонатов, что совпадает с изменением рН водных вытяжек (рис. 5.1.5).

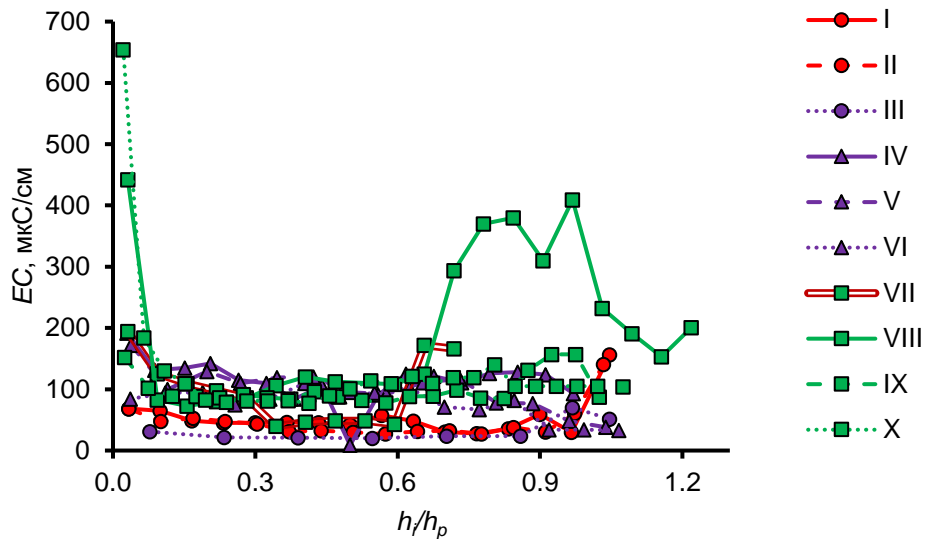


Рисунок 5.1.3 – Изменения удельной электропроводности EC водных вытяжек из торфов и минеральных грунтов в зависимости от относительной глубины; (h_i – средняя глубина i -го интервала опробования 0.25 м; h_p – глубина торфяной залежи); условные обозначения: I – гряда верхового грядово-мочажинного комплекса, Васюганское болото, 09.11.2018 г.; II – верховой «рям», Васюганское болото, 09.11.2018 г.; III – переходный участок Васюганского болота, 09.11.2018 г.; IV – Тимирязевское переходное болото, центр, 25.11.2019 г.; V – Тимирязевское переходное болото, между точками IV и VI, 25.11.2019 г.; VI – Тимирязевское переходное болото, у границы болота, 25.11.2019 г.; VII – загрязненный участок низинного Обского болота у с. Мельниково, 26.11.2018 г.; VIII – фоновый участок низинного Обского болота у с. Нащекново, 26.11.2018 г.; IX – фоновый участок низинного Обского болота у с. Нащекново, 18.03.2021 г.; X – фоновый участок низинного Обского болота у с. Нащекново, 18.03.2021 г.

С учетом этого был сделан вывод о наличии геохимических барьеров на границе деятельного и инертного горизонтов торфяной залежи и на ее нижней границе [Savichev, Soldatova et al., 2020; Savichev et al., 2019], что в целом согласуется с выводами, полученными другими авторами и для других регионов [Leonova et al., 2020; Сысуев, 2021; Солдатова, Торопов, 2021]. Соответственно, можно предположить, что накопление соединений железа в нижней части торфяной залежи связано не только (а может, и не столько) с наличием источника вещества, но и с гидрогеохимической обстановкой. Также отметим, что, во-первых, на участке низинного Обского болота у с. Нащекново в марте и октябре 2021 г. карбонатные минералы выявлены визуально на нескольких горизонтах, а величина pH распределена по глубине равномернее, чем для верховых участков Васюганского болота. Это свидетельствует о существенно большем притоке подземных вод.

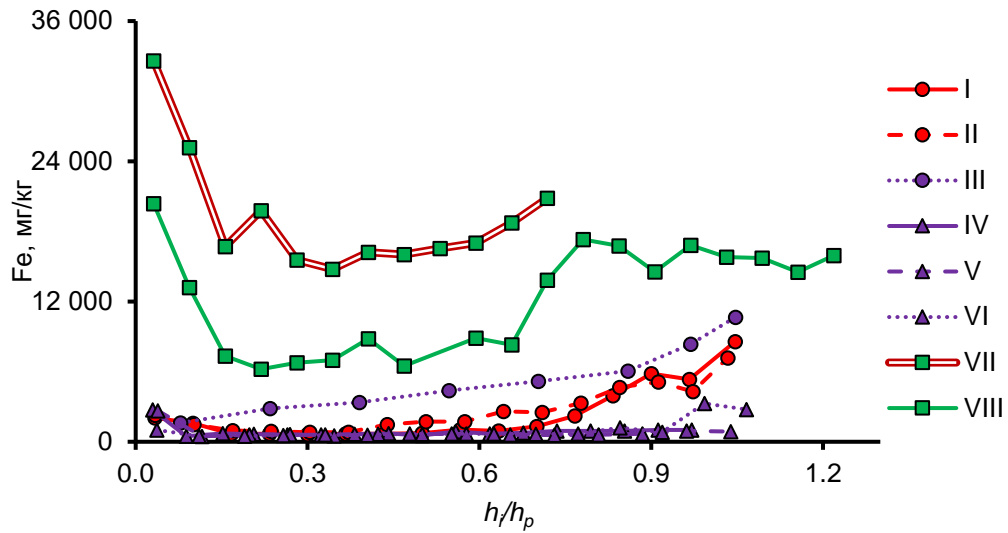


Рисунок 5.1.4 – Изменения валовой концентрации Fe в кислотных вытяжках из торфов и минеральных грунтов в зависимости от относительной глубины; условные обозначения – те же, что и для рис. 5.1.3

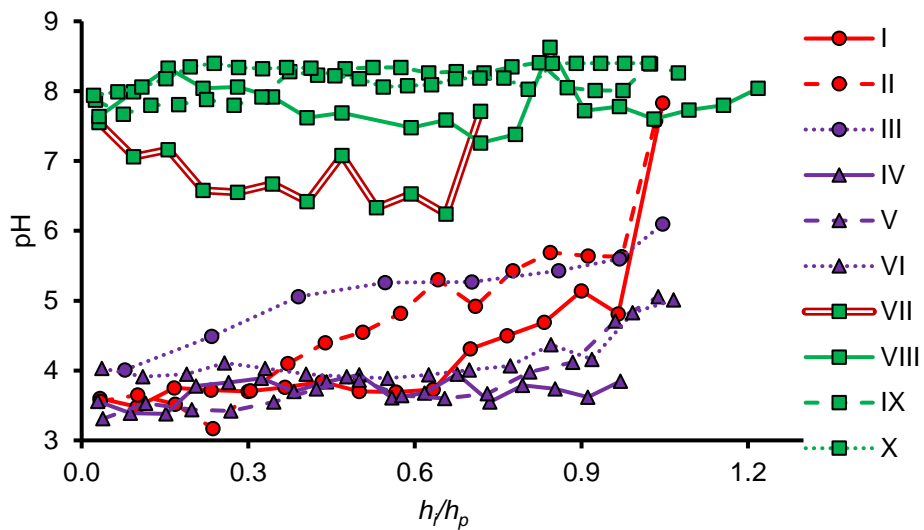


Рисунок 5.1.5 – Изменения pH водных вытяжек из торфов и минеральных грунтов в зависимости от относительной глубины; условные обозначения – те же, что и для рис. 5.1.3

Во-вторых, влияние сточных вод на низинное Обское болото, судя по результатам обобщения данных (как о составе болотных вод, так и водных вытяжек из торфов), сводится к увеличению общего содержания главных ионов, биогенных и органических веществ, особенно в верхней части торфяной залежи и уменьшению минерального разнообразия [Savichev et al., 2020], причем изменяется тип воды (гидрокарбонатный кальциевый на фоновом участке и гидрокарбонатный натриевый – на загрязненном). При удалении от выпуска сточных вод на

загрязненном участке (у с. Мельниково) и от границы первой и второй надпойменных террас долины р. Оби (в обоих случаях) меняется химический состав в сторону снижения валовых содержаний целого ряда веществ, что указывает на единый механизм саморегуляции состояния болота и в природных, и в антропогенных условиях. Одним из результатов функционирования этого механизма является аккумуляция в торфах ряда металлов [Шварцев и др., 2007], содержащихся в подземных водах, поступающих в низинное и, в меньшей степени, в переходное болота.

5.2. Ветланды в бассейне озера Поян

На приозёрных территориях вследствие значительной амплитуды колебаний уровней озерных вод в условиях теплого и влажного климата широко распространены ветланды, часть из которых трансформирована и используется для сельскохозяйственных целей, а часть вошла в состав Национального природного заповедника «ветланд Наньцзишань», который расположен на юге основного озерного района озера Поян и представляет собой пограничную зону дельты Ганьцзян, образованную аккумуляцией отложений северного, среднего и южного рукавов реки Ганьцзян. Эти отложения представляют собой латеритные и песчано-гравийные скопления мощностью 30–75 м с верхним слоем глинистых отложений [China Forestry Network, 2014].

В 2022 г. автором совместно с Чжоу Дань был выполнено опробование подземных и болотных вод в устьевой области р. Ганьцзян. Анализ полученных данных и материалов исследований других авторов показал, что изученные подземные воды и воды ветландов, по классификациям О.А. Алёкина [Алёкин, 1970; Справочник..., 1989], в целом пресные с малым и средним содержанием растворённых минеральных солей, по химическому составу – гидрокарбонатные кальциевые, чаще – второго типа, что соответствует водам, состав которых формируется при взаимодействии вод с осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород (табл. 5.2.1).

Таблица 5.2.1 – Средний химический состав подземных вод и вод ветландов в водосборе озера Поян

| Компонент | Ед.изм. | Подземные воды | | | Ветланд в целом | | | Ветланд не используемый | | | Рисовые поля | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------|-------|----|-----------------|-------|----|-------------------------|-------|---|--------------|-------|---|
| | | A | G | N | A | G | N | A | G | N | A | G | N |
| pH | ед.pH | 6,40 | 6,39 | 28 | 6,46 | 6,43 | 8 | 6,47 | 6,44 | 5 | 6,44 | 6,42 | 3 |
| Σ_{mi} | мг/дм ³ | 177,1 | 158,2 | 29 | 94,8 | 80,2 | 12 | 84,5 | 78,7 | 7 | 109,2 | 82,3 | 5 |
| Ca ²⁺ | то же | 20,7 | 16,9 | 29 | 12,6 | 9,7 | 12 | 11,1 | 10,0 | 7 | 14,7 | 9,4 | 5 |
| Mg ²⁺ | --/ | 6,1 | 5,2 | 29 | 2,8 | 2,5 | 12 | 2,2 | 2,0 | 7 | 3,6 | 3,4 | 5 |
| Na ⁺ | --/ | 14,5 | 12,5 | 29 | 8,4 | 6,5 | 12 | 7,6 | 6,6 | 7 | 9,6 | 6,4 | 5 |
| K ⁺ | --/ | 9,6 | 4,2 | 29 | 4,8 | 3,3 | 12 | 3,2 | 2,4 | 7 | 7,0 | 5,1 | 5 |
| HCO ₃ ⁻ | --/ | 84,6 | 69,6 | 29 | 32,1 | 22,9 | 12 | 29,4 | 22,8 | 7 | 35,9 | 23,1 | 5 |
| Cl ⁻ | --/ | 20,1 | 12,4 | 29 | 15,0 | 10,7 | 12 | 12,8 | 9,6 | 7 | 18,0 | 12,4 | 5 |
| SO ₄ ²⁻ | --/ | 21,3 | 10,1 | 29 | 19,1 | 13,2 | 12 | 18,2 | 14,1 | 7 | 20,5 | 12,0 | 5 |
| F ⁻ | --/ | 0,31 | 0,14 | 17 | 0,21 | 0,17 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| NO ₃ ⁻ | --/ | 18,579 | 4,774 | 25 | 0,970 | 0,835 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| NO ₂ ⁻ | --/ | 0,045 | 0,021 | 25 | 0,804 | 0,070 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| NH ₄ ⁺ | --/ | 1,133 | 0,186 | 25 | 0,263 | 0,249 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| Фосфаты | --/ | 0,118 | 0,066 | 25 | 0,057 | 0,052 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| P | --/ | 0,025 | 0,009 | 6 | 0,194 | 0,049 | 8 | 0,127 | 0,020 | 5 | 0,307 | 0,218 | 3 |
| Si | --/ | 9,73 | 8,03 | 29 | 4,83 | 3,68 | 12 | 6,40 | 5,44 | 7 | 2,63 | 2,14 | 5 |
| Fe | --/ | 5,409 | 0,210 | 28 | 1,682 | 0,534 | 12 | 2,185 | 0,891 | 7 | 0,977 | 0,261 | 5 |
| Li | мкг/дм ³ | 1,12 | 0,66 | 6 | 2,77 | 1,68 | 8 | 2,50 | 1,14 | 5 | 3,22 | 3,20 | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|----|--------|-------|----|--------|-------|---|-------|-------|---|
| B | то же | 7,66 | 6,01 | 6 | 11,45 | 7,52 | 8 | 8,73 | 5,78 | 5 | 15,98 | 11,65 | 3 |
| Al | -- | 8,1 | 6,6 | 6 | 1147,4 | 203,9 | 8 | 1388,5 | 233,8 | 5 | 745,7 | 162,4 | 3 |
| Sc | -- | 0,33 | 0,28 | 6 | 0,39 | 0,28 | 8 | 0,49 | 0,32 | 5 | 0,22 | 0,21 | 3 |
| Ti | -- | 0,47 | 0,17 | 6 | 20,30 | 3,29 | 8 | 22,85 | 3,53 | 5 | 16,04 | 2,92 | 3 |
| V | -- | 0,65 | 0,23 | 6 | 4,85 | 1,34 | 8 | 6,03 | 1,40 | 5 | 2,88 | 1,25 | 3 |
| Cr | -- | 1,01 | 0,98 | 6 | 8,20 | 1,11 | 8 | 12,14 | 1,17 | 5 | 1,62 | 1,03 | 3 |
| Mn | -- | 49,9 | 20,2 | 6 | 368,7 | 154,9 | 8 | 335,7 | 100,5 | 5 | 423,9 | 318,7 | 3 |
| Co | -- | 0,12 | 0,08 | 6 | 1,50 | 0,68 | 8 | 1,57 | 0,48 | 5 | 1,38 | 1,21 | 3 |
| Ni | -- | 1,26 | 1,10 | 6 | 2,91 | 1,41 | 8 | 2,10 | 0,84 | 5 | 4,27 | 3,36 | 3 |
| Cu | -- | 3,71 | 1,26 | 23 | 3,26 | 0,55 | 12 | 3,90 | 1,63 | 7 | 2,37 | 0,12 | 5 |
| Zn | -- | 10,44 | 6,30 | 23 | 16,05 | 1,91 | 12 | 16,90 | 3,80 | 7 | 14,86 | 0,72 | 5 |
| Ga | -- | 0,02 | 0,01 | 6 | 0,82 | 0,19 | 8 | 0,98 | 0,21 | 5 | 0,54 | 0,15 | 3 |
| Ge | -- | 0,01 | 0,01 | 6 | 0,06 | 0,03 | 8 | 0,07 | 0,02 | 5 | 0,06 | 0,05 | 3 |
| As | -- | 0,25 | 0,18 | 6 | 2,94 | 1,88 | 8 | 3,47 | 1,96 | 5 | 2,06 | 1,74 | 3 |
| Se | -- | 0,55 | 0,30 | 6 | 0,52 | 0,23 | 8 | 0,58 | 0,28 | 5 | 0,42 | 0,17 | 3 |
| Br | -- | 38,30 | 30,45 | 6 | 48,34 | 30,22 | 8 | 50,06 | 26,59 | 5 | 45,47 | 37,41 | 3 |
| Rb | -- | 12,68 | 6,62 | 6 | 13,93 | 10,93 | 8 | 9,99 | 7,83 | 5 | 20,49 | 19,09 | 3 |
| Sr | -- | 92,8 | 58,9 | 6 | 60,2 | 46,3 | 8 | 43,3 | 39,1 | 5 | 88,3 | 61,4 | 3 |
| Y | -- | 0,563 | 0,323 | 6 | 3,836 | 1,283 | 8 | 3,987 | 1,072 | 5 | 3,583 | 1,731 | 3 |
| Zr | -- | 0,003 | 0,003 | 6 | 0,273 | 0,077 | 8 | 0,362 | 0,079 | 5 | 0,124 | 0,075 | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|--------|--------|----|-------|-------|----|-------|-------|---|-------|-------|---|
| Nb | -- | 0,003 | 0,003 | 6 | 0,083 | 0,016 | 8 | 0,103 | 0,019 | 5 | 0,050 | 0,012 | 3 |
| Mo | -- | 0,165 | 0,055 | 6 | 0,601 | 0,194 | 8 | 0,549 | 0,202 | 5 | 0,687 | 0,180 | 3 |
| Ru | -- | 0,004 | 0,003 | 6 | 0,004 | 0,003 | 8 | 0,004 | 0,003 | 5 | 0,003 | 0,003 | 3 |
| Rh | -- | 0,002 | 0,001 | 6 | 0,001 | 0,001 | 8 | 0,001 | 0,001 | 5 | 0,002 | 0,001 | 3 |
| Pd | -- | 0,003 | 0,002 | 6 | 0,005 | 0,004 | 8 | 0,005 | 0,003 | 5 | 0,006 | 0,004 | 3 |
| Ag | -- | 0,310 | 0,035 | 6 | 6,194 | 0,031 | 8 | 9,701 | 0,055 | 5 | 0,348 | 0,012 | 3 |
| Cd | -- | 0,066 | 0,004 | 23 | 0,123 | 0,022 | 12 | 0,050 | 0,010 | 7 | 0,226 | 0,065 | 5 |
| Sn | -- | 0,082 | 0,021 | 6 | 0,057 | 0,031 | 8 | 0,065 | 0,029 | 5 | 0,045 | 0,035 | 3 |
| Sb | -- | 0,053 | 0,025 | 6 | 0,181 | 0,130 | 8 | 0,152 | 0,107 | 5 | 0,230 | 0,178 | 3 |
| Cs | -- | 0,194 | 0,112 | 6 | 0,910 | 0,239 | 8 | 1,219 | 0,256 | 5 | 0,396 | 0,212 | 3 |
| Ba | -- | 75,0 | 62,3 | 6 | 70,3 | 56,4 | 8 | 51,3 | 44,6 | 5 | 102,0 | 83,3 | 3 |
| Lu | -- | 0,002 | 0,001 | 6 | 0,042 | 0,009 | 8 | 0,041 | 0,008 | 5 | 0,043 | 0,013 | 3 |
| Hf | -- | <0,001 | <0,001 | 6 | 0,009 | 0,002 | 8 | 0,013 | 0,002 | 5 | 0,002 | 0,001 | 3 |
| Ta | -- | 0,004 | 0,004 | 6 | 0,008 | 0,005 | 8 | 0,008 | 0,004 | 5 | 0,006 | 0,005 | 3 |
| W | -- | 0,030 | 0,017 | 6 | 0,371 | 0,039 | 8 | 0,092 | 0,034 | 5 | 0,838 | 0,048 | 3 |
| Au | -- | 0,003 | 0,003 | 6 | 0,004 | 0,003 | 8 | 0,004 | 0,003 | 5 | 0,003 | 0,003 | 3 |
| Hg | -- | 0,036 | 0,025 | 6 | 0,119 | 0,048 | 8 | 0,167 | 0,057 | 5 | 0,040 | 0,035 | 3 |
| Tl | -- | 0,044 | 0,032 | 6 | 0,073 | 0,043 | 8 | 0,066 | 0,029 | 5 | 0,085 | 0,085 | 3 |
| Pb | -- | 1,951 | 0,640 | 23 | 3,699 | 0,478 | 12 | 4,619 | 1,131 | 7 | 2,412 | 0,143 | 5 |
| La | -- | 0,607 | 0,338 | 6 | 5,691 | 1,773 | 8 | 6,168 | 1,568 | 5 | 4,896 | 2,176 | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|-------|-------|----|--------|-------|---|--------|-------|---|--------|-------|---|
| Ce | -- | 0,159 | 0,035 | 6 | 14,541 | 4,030 | 8 | 15,616 | 3,762 | 5 | 12,750 | 4,520 | 3 |
| Pr | -- | 0,124 | 0,067 | 6 | 1,430 | 0,415 | 8 | 1,502 | 0,380 | 5 | 1,310 | 0,480 | 3 |
| Nd | -- | 0,471 | 0,217 | 6 | 5,287 | 1,579 | 8 | 5,622 | 1,396 | 5 | 4,730 | 1,939 | 3 |
| Sm | -- | 0,088 | 0,027 | 6 | 1,065 | 0,294 | 8 | 1,117 | 0,252 | 5 | 0,979 | 0,383 | 3 |
| Eu | -- | 0,032 | 0,023 | 6 | 0,193 | 0,069 | 8 | 0,207 | 0,063 | 5 | 0,170 | 0,081 | 3 |
| Gd | -- | 0,100 | 0,030 | 6 | 1,078 | 0,294 | 8 | 1,191 | 0,251 | 5 | 0,890 | 0,382 | 3 |
| Tb | -- | 0,012 | 0,006 | 6 | 0,139 | 0,035 | 8 | 0,148 | 0,028 | 5 | 0,123 | 0,050 | 3 |
| Dy | -- | 0,067 | 0,020 | 6 | 0,765 | 0,205 | 8 | 0,834 | 0,178 | 5 | 0,651 | 0,261 | 3 |
| Ho | -- | 0,011 | 0,005 | 6 | 0,136 | 0,042 | 8 | 0,141 | 0,035 | 5 | 0,126 | 0,056 | 3 |
| Er | -- | 0,027 | 0,011 | 6 | 0,359 | 0,096 | 8 | 0,373 | 0,077 | 5 | 0,337 | 0,137 | 3 |
| Tm | -- | 0,004 | 0,003 | 6 | 0,050 | 0,013 | 8 | 0,051 | 0,010 | 5 | 0,046 | 0,020 | 3 |
| Yb | -- | 0,023 | 0,011 | 6 | 0,310 | 0,081 | 8 | 0,335 | 0,068 | 5 | 0,269 | 0,110 | 3 |
| U | -- | 0,184 | 0,016 | 6 | 0,622 | 0,181 | 8 | 0,654 | 0,166 | 5 | 0,569 | 0,209 | 3 |
| БО | мгО/дм ³ | 3,85 | 1,76 | 23 | 7,18 | 3,70 | 4 | 5,36 | 2,85 | 2 | 9,00 | 4,82 | 2 |
| С _{орг.} | мгО/дм ³ | 1,22 | 0,94 | 26 | 4,57 | 3,88 | 8 | 2,82 | 2,58 | 4 | 6,32 | 5,83 | 4 |
| Классификация по О.А. Алекину | Класс | С | С | - | С | С | - | С | С | - | С | С | - |
| | Группа | Са | Са | - | Са | Са | - | Са | Са | - | Са | Са | - |
| | Тип | II | II | - | II | III | - | II | II | - | III | III | - |

Примечание: Σm_i – сумма главных ионов; БО – бихроматная окисляемость; С_{орг.} – углерод органических соединений; А – среднее арифметическое; G – среднее геометрическое; N – количество проб (прочерк – нет данных)

Согласно [Гидрохимические показатели..., 2007], по величине рН подземные воды и воды ветландов – слабокислые и нейтральные; по величине Eh: воды ветландов – с окислительной обстановкой, а подземные – с переходной окислительно-восстановительной. Содержание органических веществ в ветландах выше, чем в подземных водах, а сумма главных ионов Σ_{mi} , напротив, ниже, что подтверждается результатами проверки на однородность по среднему (критерий Стьюдента) и дисперсии (критерий Фишера) с уровнем значимости 5% (табл. 5.2.2). Но при этом величина Σ_{mi} вод рисовых полей в целом заметно больше, чем вод неиспользуемых ветландов.

Кроме проверки на однородность данных, полученных на разных пунктах наблюдений, иногда достаточно удалённых друг от друга, был также выполнен поиск зависимостей между геохимическими показателями подземных вод и вод ветландов посредством корреляционного анализа двух выборок, каждая из которых составлена из шести пар проб, отобранных вблизи друг от друга (количество смежных пунктов – шесть). Статистически значимые связи (при уровне значимости 5%) выявлены только содержания для фосфора в подземных водах и водах ветландов (табл. 5.2.3).

Таблица 5.2.2 – Отношения фактических и критических значений критериев Стьюдента (t) и Фишера (F) при уровне значимости 5 % между гидрогеохимическими показателями подземных и болотных вод в водосборе озера Поян

| Показатель | t_f/t_5 | F_f/F_5 |
|---------------|-------------|-------------|
| рН | 0,17 | 0,94 |
| Σ_{mi} | 1,40 | 0,74 |
| Fe | 0,54 | 5,80 |
| $C_{орг.}$ | 2,37 | 2,22 |

Примечание: t_f и F_f – фактические значения критериев Стьюдента и Фишера, соответственно; t_5 и F_5 – значения критериев Стьюдента и Фишера при уровне значимости 5 %; соотношения $t_f/t_5 > 1$ и $F_f/F_5 > 1$ (выделены полужирным шрифтом) свидетельствуют об отклонении нулевой гипотезы об однородности рядов по среднему и дисперсии

Это свидетельствует о возможности поступления из ветландов в подземные водоносные горизонты органических веществ и продуктов их трансформации, что подтверждается и выводами, полученными путём визуального сопоставления данных Солдатовой Е.А. с соавторами [Soldatova et al., 2019; Soldatova et al., 2021] и Yang Pinghua [Yang, 2019]. Однако, на наш взгляд, в ряде случаев это (поступление органических и биогенных веществ) связано не с антропогенным загрязнением, как было предположено в [Yang, 2019], а с процессами

аккумуляции органических веществ в ветландах, что было показано на примере болот Западной Сибири с разной степенью антропогенной нагрузки [Туров и др., 1998; Шварцев и др., 2002; Schvartsev et al., 2012; Серебренникова и др., 2014; Serebrennikova et al., 2015; Дучко, 2016; Efremova, Efremov, Kalacheva, 2018; Серебренникова и др., 2019; Russkikh et al., 2020; Иванова и др., 2020].

Таблица 5.2.3 – Коэффициенты корреляции между геохимическими показателями подземных вод и вод ветландов, погрешности их определения

| Показатель | Коэффициент корреляции и погрешность его определения |
|-----------------|--|
| pH | 0,57±0,30 |
| Σ_{mi} | -0,39±0,38 |
| Cl ⁻ | -0,37±0,39 |
| P | 0,69±0,23 |
| Si | 0,35±0,39 |
| Fe | -0,26±0,420 |
| Mn | -0,45±0,36 |
| Cu | -0,25±0,42 |
| Zn | 0,49±0,34 |
| Cd | -0,27±0,41 |
| W | -0,09±0,44 |
| Hg | 0,57±0,30 |
| Pb | -0,36±0,39 |
| Ce | -0,40±0,38 |

5.3. Обобщение результатов анализа взаимосвязей между химическим составом подземных вод и вод ветландов

В Западной Сибири наиболее выраженное влияние подземных вод на химический состав болотных вод характерно для низинного болота, расположенного в долине р. Оби (на первой надпойменной террасе). У внешней границы этого болота происходит разгрузка напорных подземных вод из отложений палеогена и верхнего мела. Область питания этих вод расположена, предположительно, юго-западнее и южнее, что обуславливает достаточно длительное взаимодействие с горными породами палеозойских образований и, соответственно, присутствие в них ряда характерных химических элементов. Весьма резкое изменение гидрогеохимической обстановки при поступлении подземных вод в болото приводит к выведению этих элементов в виде малорастворимых соединений и/или сорбции на частицах торфов. Подобный механизм функционирует и на водораздельных пространствах на границе низинных болот и суходолов, что приводит к аккумуляции ряда веществ, в том числе в виде минеральных форм. Можно предположить, что аналогичные условия наблюдались и ранее на заболоченных территориях, сформировавшихся при регрессии Западно-Сибирского моря в мезозое и палеогене [Савичев и др., 2022].

Взаимодействие подземных вод и вод ветландов отмечено и в случае водосбора озера Поян. Оно проявляется в поступлении в меженный период в водоносные горизонты, прежде всего, продуктов трансформации органических веществ, а не их самих. Это свидетельствует, во-первых, о временном лаге между изменениями состояния ветландов и подземных вод, что подтверждается и результатами исследований других авторов, в частности, результатами расчетов взаимовлияния озерных и подземных вод [Song et al., 2023]. Во-вторых, также, как и в случае болот Западной Сибири, можно предположить наличие геохимических и механических барьеров, препятствующих более интенсивным потокам между ветландами и подземными водоносными горизонтами. В-третьих, средняя глубина залегания изученных подземных вод в водосборе озера Поян составляет 11 ± 1 м, что пока позволяет ограничить вывод о значимом влиянии ветландов на химический состав только применительно к грунтовым водам преимущественно в отложениях четвертичного возраста. В случае напорных вод в более глубоких водоносных горизонтах требуются дальнейшие исследования.

В целом, на основе обобщений и анализа данных о водном балансе Обского болота, режиме подземных вод в районе Обского болота и в водосборе озера Поян (основная часть обоснования в главе 4) и с учётом данных гидрогеохимических наблюдений (дополнительное обоснование в главе 5) можно сформулировать *первое защищаемое положение: на юго-востоке Западной Сибири (РФ) взаимодействие поверхностных и подземных вод в разрезе в*

основном ограничено глубинами 110–120 м, а в плане приурочено к участкам переменного напора подземных вод на границе болот; влияние болотных вод на режим подземных вод наиболее вероятно в летне-осеннюю межень, когда возможен переток болотных вод в сторону от долинного болота к водоразделу на участках 800–900 м, а также увеличивается инфильтрация.

На основе статистического анализа данных гидрогеохимических наблюдений (глава 5) и с учётом результатов изучения водного режима ветландов (глава 4) сформулировано *второе защищаемое положение*: **наибольшее влияние подземных вод на химический состав болотных вод на юго-востоке Западной Сибири характерно для краевых частей низинных долинных болот, где происходит разгрузка напорных подземных вод с более высокими, по сравнению с болотными водами, значениями минерализации и рН, наименьшее (вплоть до отсутствия) – для водораздельных верховых болот; напротив, болота оказывают существенное воздействие на состояние, преимущественно, грунтовых вод, что проявляется в снижении их минерализации и рН; в водосборе озера Поян значимое влияние водно-болотных угодий связано, в основном, с поступлением в грунтовые воды соединений фосфора и снижением рН.**

6. Оценка влияния загрязнения ветландов на состояние подземных вод

Анализ гидрогеохимических данных, результаты которого приведены в главе 5, в целом показал, что химический состав вод ветландов, с одной стороны, взаимосвязан с химическим составом поверхностных и подземных вод, а с другой стороны – характеризуется определённой «автономностью», которая, по сути, и является одним из признаков «самостоятельности» болот как особых природных объектов [Савичев, 2021]. Эта «автономность» является важным фактором, в значительной степени препятствующим интенсивной миграции загрязняющих веществ в ветландах и выносу за их пределы в случаях загрязнения ветландов с учетом потенциально возможного водообмена на границе болота (рис. 4.1.4 *a,b*). В рамках анализа этого фактора (четвертый этап исследования) было изучено взаимодействие вод и болотных отложений в водосборе озера Поян (подэтап 4.1) и проведен эксперимент по изучению процессов самоочищения на участке Обского болота (подэтап 4.2).

6.1. Взаимодействие вод и отложений ветландов в водосборе озера Поян

В октябре 2022 г. совместно с Чжоу Дань автором был проведен отбор проб вод и отложений из ветландов в устьевой области р. Ганьцзян (рис. 2.3; табл. 6.1.1), в том числе из трех ветландов, не используемых в хозяйственном отношении, и рисового поля. Корреляционный анализ полученных данных (включая данные по составу речных вод и водных вытяжек из донных отложений рек) позволил выявить статистически значимые связи между содержанием целого ряда химических элементов в водных вытяжках и действующим диаметром отложений (диаметр, соответствующей ординате 10% по кривой гранулометрического состава; табл. 6.1.1, рис. 6.1.1).

Для лучшего понимания смысла этого результата была проведена апробация модели (2.43 – 2.49) на примере вод и отложений ветландов в водосборе озера Поян с аппроксимацией величины k_{p1} зависимостью (2.46) от действующего диаметра отложений и при допущении сходимости (в течение длительного периода взаимодействий в ветланде) величины C_x (2.48) к C_e (2.49).

Таблица 6.1.1 – Действующий диаметр отложений (d_{10}), геохимические показатели поверхностных вод и водных вытяжек из отложений в водосборе озера Поян в октябре 2022 г. и коэффициенты корреляции между ними

| Показатель | Единицы измерения | Объект и номер пункта опробования в 2022 г. | | | | | | | | Коэффициенты корреляции и погрешности их определения | | |
|------------|---------------------|---|-------|-------|-------|----------------|----------------|-------|-------------|--|------------------------|------------------------|
| | | ветланды | | | | р. Цзиньдзян | | | р. Ганыцзян | | | |
| | | неиспользуемые | | | поле | выше г. Юньянь | ниже г. Юньянь | устье | ниже р95 | $r(w;s)$ | $r(s;d_{10})$ | $r(w;d_{10})$ |
| | | р02 | р03 | р04 | р06 | 98р | 102р | 95р | 104р | $\delta_{r(w;s)}$ | $\delta_{r(s;d_{10})}$ | $\delta_{r(w;d_{10})}$ |
| d_{10} | мм | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,258 | 0,113 | 0,403 | 0,003 | – | – | – |
| Са | мг/дм ³ | 4,5 | 7,1 | 17,8 | 1,8 | 19,4 | 31,1 | 26,2 | 34,5 | -0,37 | -0,67 | 0,39 |
| | мг/кг | 1693 | 1046 | 535 | 597 | 387 | 860 | 124 | 878 | 0,33 | 0,21 | 0,32 |
| Na | мг/дм ³ | 4,8 | 8,2 | 13,8 | 9,2 | 18,1 | 18,4 | 12,6 | 4,9 | -0,78 | -0,85 | 0,54 |
| | мг/кг | 59 | 47 | 37 | 53 | 21 | 23 | 14 | 42 | 0,15 | 0,10 | 0,27 |
| Р | мг/дм ³ | 0,001 | 0,174 | 0,442 | 0,458 | 0,033 | 0,085 | 0,043 | 0,038 | -0,13 | -0,68 | -0,44 |
| | мг/кг | 344 | 319 | 91 | 142 | 46 | 72 | 28 | 205 | 0,37 | 0,20 | 0,31 |
| Fe | мг/дм ³ | 0,19 | 4,29 | 8,62 | 4,18 | 0,07 | 0,22 | 0,48 | 1,26 | 0,26 | -0,72 | -0,49 |
| | мг/кг | 13200 | 14598 | 6335 | 5041 | 959 | 1263 | 574 | 8350 | 0,35 | 0,18 | 0,29 |
| Cu | мкг/дм ³ | 0,4 | 4,9 | 15,7 | 7,1 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,8 | -0,01 | -0,72 | -0,43 |
| | мкг/кг | 18942 | 11849 | 5387 | 10031 | 1442 | 2008 | 497 | 9361 | 0,38 | 0,18 | 0,31 |
| Zn | мкг/дм ³ | 5,0 | 11,9 | 89,8 | 21,9 | 1,3 | 5,0 | 2,7 | 8,2 | 0,02 | -0,74 | -0,38 |

Продолжение таблицы 6.1.1

| | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
| | МКГ/КГ | 33906 | 20883 | 14272 | 11438 | 5021 | 8012 | 1749 | 22333 | 0,38 | 0,17 | 0,32 |
| Cd | МКГ/ДМ ³ | 0,03 | 0,04 | 0,26 | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,11 | -0,09 | -0,62 | -0,39 |
| | МКГ/КГ | 558 | 235 | 125 | 165 | 97 | 146 | 22 | 370 | 0,38 | 0,23 | 0,32 |
| W | МКГ/ДМ ³ | 0,03 | 0,05 | 0,35 | 0,01 | 0,09 | 1,03 | 0,22 | 0,31 | -0,26 | -0,58 | 0,07 |
| | МКГ/КГ | 782 | 215 | 338 | 111 | 30 | 36 | 40 | 577 | 0,35 | 0,25 | 0,38 |
| Hg | МКГ/ДМ ³ | 0,025 | 0,068 | 0,693 | 0,071 | 0,025 | 0,005 | 0,018 | 0,025 | 0,43 | -0,79 | -0,30 |
| | МКГ/КГ | 78,83 | 34,46 | 84,13 | 82,40 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 80,96 | 0,31 | 0,14 | 0,34 |
| Pb | МКГ/ДМ ³ | 0,24 | 7,48 | 21,55 | 10,70 | 0,55 | 0,59 | 0,95 | 3,08 | 0,18 | -0,81 | -0,47 |
| | МКГ/КГ | 28187 | 26414 | 11904 | 22925 | 3675 | 4988 | 1381 | 19766 | 0,37 | 0,13 | 0,30 |
| Ce | МКГ/ДМ ³ | 0,82 | 19,02 | 54,31 | 34,98 | 0,12 | 0,57 | 1,78 | 6,23 | 0,47 | -0,77 | -0,49 |
| | МКГ/КГ | 35590 | 43867 | 24809 | 64839 | 3885 | 6265 | 2071 | 38502 | 0,29 | 0,15 | 0,29 |

Примечание: $r(w;s)$, $r(s;d_{10})$, $r(w;d_{10})$ – коэффициенты корреляции между концентрациями химического элемента в воде (w) и водной вытяжке из отложений (s), концентрацией в водной вытяжке из отложений и действующим диаметром d_{10} (диаметр, соответствующий ординате 10 % на кривой гранулометрического состава), концентрацией в воде и действующим диаметром; $\delta_{r(w;s)}$, $\delta_{r(s;d_{10})}$, $\delta_{r(w;d_{10})}$ – погрешности определения соответствующих коэффициентов корреляции; полужирным шрифтом выделены значения $|r| \geq 2 \cdot \delta_r$.

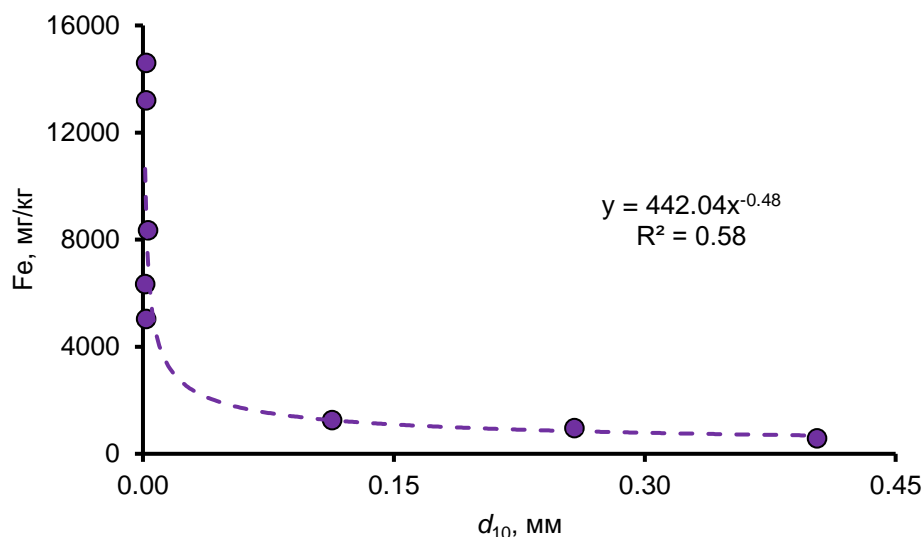


Рисунок 6.1.1 – Зависимость между действующим диаметром частиц грунта и концентрацией Fe в отложениях ветландов и рек в водосборе озера Поян в 2022 г.

Полученные результаты свидетельствуют о допустимости этого подхода для расчета концентраций веществ, которые могут попадать в окружающую среду региона как в результате производственной деятельности (например, W; потенциальный источник – деятельность горноперерабатывающих предприятий по производству W; рис. 6.1.2), так и вследствие природных процессов (например, Fe; возможные причины – накопление в водной среде органических соединений железа, а на нижней границе ветландов в отложениях – при изменении окислительно-восстановительной обстановки [Шварцев, 1998, 2012; Плюснин, Гунин, 2001; Shvartsev, 2008; Крайнов, Рыженко, Швеиц, 2004]; рис. 6.1.3).

Таким образом, имеется вполне понятный механизм задержки загрязняющих веществ в ветланде за счет их сорбции на частицах отложений, которая в целом (для данной территории) возрастает с уменьшением их действующего диаметра. При этом следует отметить, что роль непосредственно процессов растворения – осаждения и сорбции – десорбции в уравнении (2.49) выявить очень сложно (что является причиной или усиливающим фактором), но очевиден результат – чем меньше диаметр частиц отложений, тем больше концентрация химических элементов в водных вытяжках (табл. 6.1.1).

Рисунок 6.1.2 – Измеренные (o) и вычисленные (s) концентрации W в водах ветландов в водосборе озера Поян в октябре 2022 г.

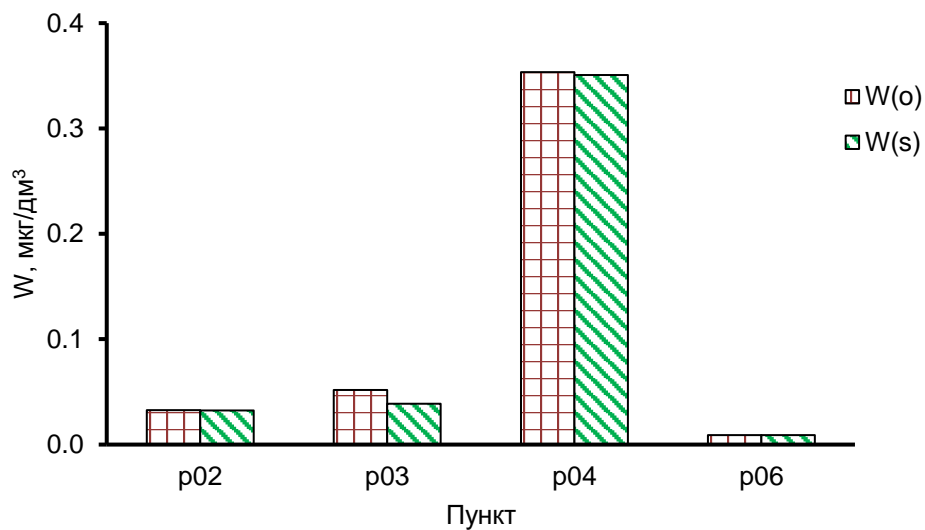
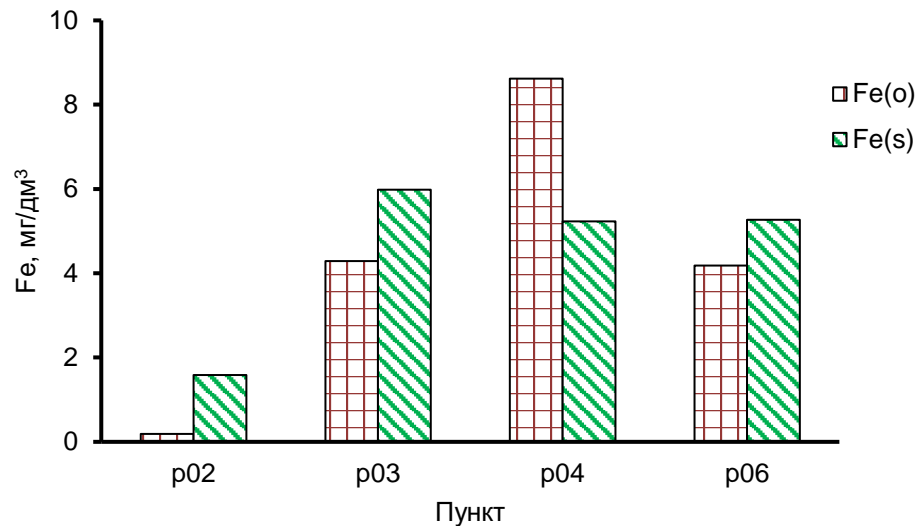


Рисунок 6.1.3 – Измеренные (o) и вычисленные (s) концентрации Fe в водах ветландов в водосборе озера Поян в октябре 2022 г.

6.2. Эксперимент по оценке самоочищения евтрофного (низинного) Обского болота

Болотные воды на фоновом участке у с. Нащеково 18 марта и 16 октября 2021 г. в целом характеризовались по классификации О.А. Алекина [Алекин, 1970] как пресные с повышенной минерализацией, за исключением пробы, отобранной 18.03.2021 г. в скважине Н4. Болотные воды на загрязненном участке у с. Мельниково – солоноватые, а подземные воды в с. Нащеково

– пресные с повышенной минерализацией с общим содержанием растворенных солей, близким к категории «солончатые воды» (табл. 6.2.1). По химическому составу болотные воды – гидрокарбонатные кальциевые, а подземные воды – гидрокарбонатные натриевые. Болотные воды характеризуются очень высокими значениями бихроматной и перманганатной окисляемости – косвенных показателей содержания органических веществ, в составе которых на фоновом участке выявлены повышенные концентрации органических фосфатов. В болотных водах обнаружены и очень высокие валовые концентрации Fe, особенно в скважине Н2, расположенной ближе к внешней границе болота и выше по уклону от скважины Н3 (табл. 6.2.1). На этом участке отсутствовали какие-либо сбросы сточных вод или размещение отходов, которые могли бы быть причиной повышения концентрации железа 16 октября в сравнении с пробой, отобранной 18 марта того же года.

Поэтому, с учетом [Ephraim, 1997; Robinson et al., 2006; Мотузова, 2013; Conzalez et al., 2014], более вероятной причиной является повышение концентрации продуктов трансформации органического вещества и образования коллоидных и взвешенных соединений металлов с фосфатами и органическими кислотами с учетом пространственной неоднородности влажности и вещественного состава торфов вследствие пространственно-временных изменений разгрузки подземных вод и отклика болотной экосистемы на их поступление. Это предположение косвенно подтверждается наличием регрессионной зависимости между валовыми содержаниями Fe и P. Причем повышенные значения *ВО* и *РО* и продуктов разложения органического вещества (например, P) в общем случае не совпадают по времени и в пространстве, что свидетельствует о неравномерности соответствующих биогеохимических процессов как одном из важных факторов формирования химического состава болотных вод и торфов.

В результате проведения эксперимента (выпуск 50 л раствора NaCl с концентрацией 20 г/дм³ в скважине Н3) выявлено некоторое увеличение концентраций Cl⁻ в болотных водах в деятельном горизонте непосредственно в месте выпуска, но заметное увеличение содержания Na⁺ не зафиксировано. Относительное увеличение концентраций Cl⁻ обнаружено также в скважине Н1 (рис. 6.2.1, табл. 6.2.1).

Продолжение таблицы 6.2.1

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NH ₄ ⁺ | -- | 0,11 | 0,15 | 0,18 | 0,75 | 0,32 | 0,21 | 0,46 | 0,34 | 0,29 | 0,11 | 0,11 | 0,06 |
| P | -- | 0,15 | 0,13 | 0,16 | 5,27 | 0,78 | 2,02 | 2,36 | 1,46 | 0,75 | 0,33 | 0,05 | 0,05 |
| Si | -- | 6,8 | 6,1 | 7,9 | 8,2 | 9,9 | 6,7 | 19,0 | 5,5 | 9,6 | 5,1 | 13,2 | 14,4 |
| Fe | -- | 1,81 | 1,53 | 3,79 | 46,69 | 10,98 | 10,38 | 8,98 | 19,79 | 8,52 | 4,65 | 0,07 | 0,08 |
| Li | мкг/дм ³ | 3,77 | 4,95 | 4,97 | 8,15 | 5,11 | 5,98 | 6,94 | 6,33 | 4,37 | 6,08 | 3,76 | 4,57 |
| Al | то же | 3,5 | 6,2 | 11,3 | 363,5 | 19,4 | 9,0 | 0,9 | 50,3 | 2,5 | 1,8 | 0,1 | 0,7 |
| Ti | -- | 1,03 | 1,13 | 1,68 | 27,08 | 3,54 | 2,92 | 3,27 | 4,34 | 2,25 | 1,01 | 1,15 | 1,19 |
| V | -- | 0,04 | 0,10 | 0,09 | 3,13 | 0,16 | 0,14 | 0,02 | 0,55 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,09 |
| Cr | -- | 1,72 | 1,66 | 2,44 | 6,56 | 2,92 | 1,65 | 3,47 | 2,10 | 2,46 | 1,49 | 3,47 | 2,75 |
| Mn | -- | 108 | 129 | 1345 | 3967 | 1607 | 174 | 1451 | 847 | 1358 | 166 | 7 | 3 |
| Co | -- | 0,135 | 0,162 | 0,737 | 2,334 | 0,814 | 0,181 | 0,441 | 0,398 | 0,555 | 0,103 | 0,109 | 0,087 |
| Ni | -- | 0,17 | 0,106 | 0,93 | 4,127 | 0,27 | 0,370 | 0,21 | 0,635 | 0,17 | 0,106 | 0,03 | 0,025 |
| Cu | -- | 0,11 | 0,257 | 2,21 | 5,350 | 0,17 | 0,318 | 0,31 | 1,270 | 0,07 | 0,067 | 0,18 | 0,304 |
| Zn | -- | 1,73 | 3,542 | 10,19 | 74,036 | 5,11 | 5,433 | 4,39 | 19,809 | 1,13 | 1,352 | 3,20 | 2,622 |
| Y | -- | 0,015 | 0,026 | 0,030 | 1,383 | 0,051 | 0,051 | 0,006 | 0,215 | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,008 |
| Zr | -- | 0,101 | 0,030 | 0,088 | 0,237 | 0,080 | 0,017 | 0,056 | 0,037 | 0,097 | 0,010 | 0,048 | 0,025 |
| Ba | -- | 74,52 | 102,41 | 114,27 | 917,39 | 159,19 | 405,54 | 195,20 | 417,96 | 135,92 | 126,28 | 416,68 | 389,73 |
| La | -- | 0,0082 | 0,0261 | 0,0331 | 1,3995 | 0,0720 | 0,0416 | 0,0023 | 0,1885 | 0,0068 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| Ce | -- | 0,0228 | 0,0477 | 0,0787 | 3,0219 | 0,1518 | 0,0753 | 0,0115 | 0,4300 | 0,0177 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0058 |
| Sm | -- | 0,0003 | 0,0211 | 0,0003 | 0,2873 | 0,0140 | 0,0429 | 0,0003 | 0,0257 | 0,0003 | 0,0093 | 0,0003 | 0,0003 |

Продолжение таблицы 6.2.1

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Eu | -- | 0,0111 | 0,0062 | 0,0092 | 0,1084 | 0,0272 | 0,0268 | 0,0226 | 0,0402 | 0,0196 | 0,0122 | 0,0517 | 0,0389 |
| Dy | -- | 0,0007 | 0,0003 | 0,0062 | 0,1983 | 0,0034 | 0,0065 | 0,0003 | 0,0367 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| Yb | -- | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0703 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0039 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| Bi | -- | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,012 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,010 | 0,002 | 0,002 | 0,006 | 0,002 |

Примечание: h_p – глубина торфяной залежи; h_{pl} – толщина мерзлого слоя торфяной залежи; EC – удельная электропроводность; BO и PO – бихроматная и перманганатная окисляемость; Σ_{mi} – сумма главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-).

Note: h_p is depth of a peat deposit; h_{pl} is thickness of a frozen layer of a peat deposit; EC is specific electric conductivity; BO and PO are bichromate and permanganate oxidizability; Σ_{mi} is the sum of the main ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-).

Проверка выборок (из пяти проб в каждой) на однородность по среднему и дисперсии показала, что в октябре 2021 г., по сравнению с мартом того же года, произошло статистически значимое уменьшение удельной электропроводности (табл. 6.2.2), а также окисляемости и суммарного содержания растворенных солей. Последнее связано, главным образом, со снижением концентраций HCO_3^- , причем одновременно выявлено увеличение концентраций растворенного CO_2 , что также свидетельствует о природном изменении биогеохимических процессов в болотной среде. Непосредственно по содержанию Na^+ и Cl^- в болотных водах нарушения однородности не обнаружены (табл. 6.2.2).

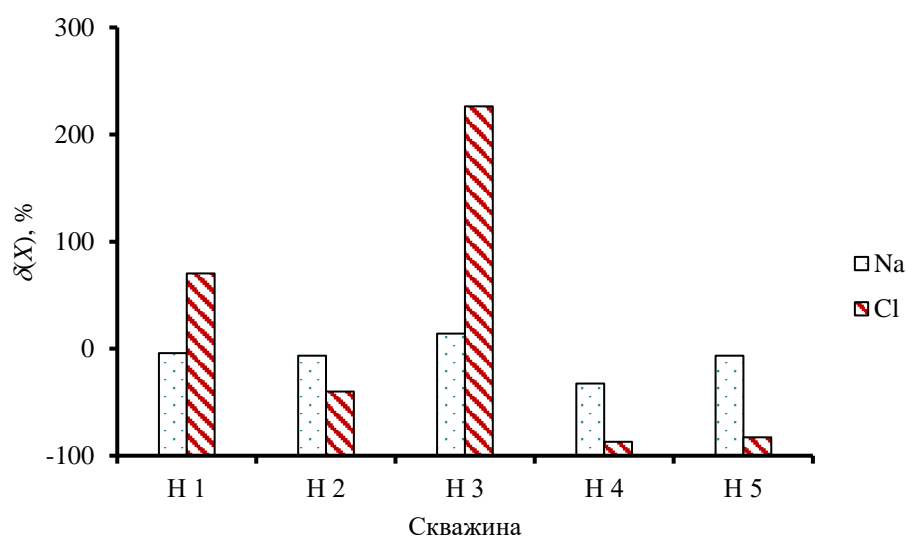


Рисунок 6.2.1 – Относительные изменения концентраций Na^+ и Cl^- в болотных водах в деятельном горизонте торфяной залежи Обского болота за период с 18.03.2021 до 16.10.2021

Более существенные изменения (с марта по октябрь) отмечены для указанных выше элементов (а также величин EC и pH) в водных вытяжках из торфов в четырех скважинах из пяти (Н1, Н3, Н4, Н5; табл. 6.2.3). При этом следует отметить, что в скважине Н3, где проведен выпуск раствора NaCl , заметное увеличение Na^+ (153 %) и Cl^- (365 %) было зафиксировано в интервале глубин 1,50–1,75 м, в меньшей степени – до 2,00 м (рис. 6.2.2, 6.2.3). Но в этой же скважине наблюдалось и снижение концентраций Na^+ и Cl^- в нижней части торфяной залежи.

Таблица 6.2.2 – Соотношение фактических (индекс «*f*») и критических значений (индекс «5%») при уровне значимости 5 %) критериев Фишера K_F (2.42), Стьюдента K_S (2.41) и значения критерия K_D (2.40) для болотных вод и водных вытяжек из торфов Обского болота [Савичев и др., 2022]

| Скважи на | рН | | | ЕС | | | Na ⁺ | | | Cl ⁻ | | |
|--|----------------------------|----------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|-------|
| | $K_{F(f)}/$ $K_{F(5%)}$ | $K_{S(f)}/$ $K_{S(5%)}$ | K_D | $K_{F(f)}/$ $K_{F(5%)}$ | $K_{S(f)}/$ $K_{S(5%)}$ | K_D | $K_{F(f)}/$ $K_{F(5%)}$ | $K_{S(f)}/$ $K_{S(5%)}$ | K_D | $K_{F(f)}/$ $K_{F(5%)}$ | $K_{S(f)}/$ $K_{S(5%)}$ | K_D |
| Сравнение выборок по пяти скважинам в марте и октябре | | | | | | | | | | | | |
| Н1–Н5 | 0,12 | 0,66 | 1,84 | 14,45 | 0,73 | 1,23 | 0,61 | 0,63 | 1,09 | 0,13 | 0,12 | 1,19 |
| Сравнение выборок по отдельным скважинам и в целом по пяти скважинам | | | | | | | | | | | | |
| Н1 | 0,46 | 1,60 | 1,40 | 0,91 | 0,96 | 0,81 | 3,34 | 1,07 | 2,97 | 0,41 | 2,67 | 2,02 |
| Н2 | 0,73 | 0,80 | 11,49 | 0,57 | 0,46 | 1,52 | 0,47 | 0,33 | 1,30 | 0,68 | 0,79 | 1,56 |
| Н3 | 0,95 | 1,79 | 1,80 | 2,02 | 1,02 | 0,93 | 0,62 | 0,57 | 1,12 | 0,71 | 0,35 | 1,30 |
| Н4 | 0,44 | 1,43 | 10,60 | 3,14 | 0,82 | 0,93 | 0,70 | 0,52 | 0,97 | 2,38 | 1,08 | 0,82 |
| Н5 | 0,91 | 0,16 | 1,44 | 1,22 | 0,81 | 1,00 | 1,16 | 1,53 | 1,03 | 2,02 | 1,43 | 1,05 |
| Н1–Н5 | 1,26 | 0,23 | 7,08 | 2,28 | 1,67 | 0,90 | 1,04 | 0,23 | 1,35 | 1,41 | 2,04 | 1,14 |

Примечание: случаи нарушения однородности выделены полужирным шрифтом.

Таблица 6.2.3 – Значения рН, удельной электропроводности EC , концентрации Na^+ и Cl^- в водных вытяжках из торфов и минеральных отложений Обского болота и их относительное изменение $\delta(X)$ (1) в течение 18.03.2021–16.10.2021 г. [Савичев и др., 2022]

| Скважина | Грунт | Интервал глубин, м | рН, ед. рН | | $\delta(\text{pH})$, % | EC, мкС/см | | $\delta(EC)$, % | Na^+ , мг/дм ³ | | $\delta(Na^+)$, % | Cl^- , мг/дм ³ | | $\delta(Cl^-)$, % |
|----------|-----------|--------------------|------------|-------|-------------------------|------------|-------|------------------|-----------------------------|-------|--------------------|-----------------------------|-------|--------------------|
| | | | 18.03 | 16.10 | | 18.03 | 16.10 | | 18.03 | 16.10 | | 18.03 | 16.10 | |
| Н1 | Г | 0,00–0,25 | 7,87 | 7,74 | -1,7 | 152 | 125 | -17,8 | 8,1 | 11,2 | 37,6 | 7,8 | 2,8 | -64,3 |
| | Г | 0,25–0,50 | 7,67 | 7,50 | -2,2 | 102 | 113 | 11,0 | 7,6 | 7,6 | 0,1 | 8,4 | 2,1 | -74,6 |
| | Г | 0,50–0,75 | 7,80 | 8,09 | 3,7 | 89 | 87 | -1,5 | 4,8 | 11,8 | 146,9 | 7,8 | 5,0 | -36,2 |
| | Г | 0,75–1,00 | 7,81 | 7,85 | 0,5 | 89 | 72 | -19,0 | 3,8 | 2,9 | -23,2 | 6,5 | 1,1 | -82,8 |
| | Г | 1,00–1,25 | 7,88 | 7,56 | -4,1 | 86 | 79 | -8,0 | 4,0 | 7,6 | 88,1 | 4,7 | 1,0 | -78,5 |
| | Г | 1,25–1,50 | 7,80 | 7,58 | -2,8 | 91 | 83 | -9,1 | 4,0 | 4,9 | 22,4 | 5,2 | 1,1 | -78,3 |
| | Г | 1,50–1,75 | 7,92 | 7,40 | -6,6 | 86 | 82 | -4,3 | 3,7 | 4,3 | 17,0 | 4,4 | 1,0 | -76,9 |
| | Г | 1,75–2,00 | 8,28 | 7,60 | -8,2 | 84 | 90 | 6,5 | 5,2 | 3,5 | -33,5 | 6,5 | 1,5 | -77,5 |
| | Г | 2,00–2,25 | 8,23 | 7,89 | -4,1 | 96 | 84 | -13,3 | 2,7 | 3,1 | 13,3 | 3,7 | 0,9 | -75,7 |
| | Г | 2,25–2,50 | 8,32 | 7,88 | -5,3 | 88 | 86 | -2,6 | 2,5 | 2,8 | 14,2 | 3,7 | 0,3 | -90,9 |
| | Г | 2,50–2,75 | 8,34 | 8,15 | -2,3 | 82 | 75 | -8,4 | 2,6 | 3,9 | 51,6 | 4,9 | 1,5 | -70,0 |
| | Г | 2,75–3,00 | 8,34 | 8,04 | -3,6 | 78 | 74 | -5,5 | 2,5 | 4,5 | 82,5 | 3,3 | 1,1 | -65,5 |
| | Г | 3,00–3,25 | 8,26 | 8,01 | -3,0 | 88 | 70 | -20,5 | 3,2 | 20,2 | 537,2 | 3,4 | 0,8 | -75,0 |
| | Г | 3,25–3,50 | 8,28 | 8,02 | -3,1 | 89 | 69 | -22,8 | 2,5 | 3,8 | 55,7 | 3,1 | 1,0 | -67,2 |
| | Г | 3,50–3,75 | 8,26 | 8,07 | -2,3 | 99 | 75 | -24,2 | 3,5 | 3,3 | -5,5 | 3,8 | 1,2 | -67,7 |
| Г(б) | 3,75–4,00 | 8,35 | 8,05 | -3,6 | 86 | 70 | -18,5 | 2,7 | 4,9 | 81,5 | 3,5 | 8,1 | 128,3 | |
| Г | 4,00–4,25 | 8,41 | 7,96 | -5,4 | 85 | 76 | -10,7 | 1,8 | 4,9 | 180,0 | 2,4 | 1,0 | -57,0 | |

Продолжение таблицы 6.2.3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-----------|------|------|------|-----|------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|
| | т | 4,25–4,50 | 8,05 | 7,88 | -2,1 | 131 | 105 | -20,2 | 3,5 | 5,9 | 70,0 | 3,9 | 1,5 | -62,2 |
| | ут | 4,50–4,75 | 8,01 | 7,91 | -1,3 | 157 | 110 | -30,2 | 8,7 | 16,2 | 85,6 | 5,2 | 1,3 | -74,4 |
| | ут | 4,75–5,00 | 8,01 | 7,93 | -1,0 | 157 | 115 | -26,9 | 8,7 | 26,5 | 203,6 | 5,2 | 1,2 | -77,1 |
| | ОМО | 5,00–5,25 | 8,39 | 7,88 | -6,1 | 87 | 93 | 6,6 | 2,3 | 15,4 | 562,5 | 2,7 | 1,2 | -54,1 |
| | Сугли нок | 5,25–5,50 | 8,26 | 7,83 | -5,2 | 104 | 72 | -31,3 | 2,1 | 4,2 | 105,8 | 2,6 | 1,3 | -50,0 |
| Н2 | т | 0,00–0,25 | 7,94 | 7,83 | -1,4 | 123 | 129 | 5,0 | 6,0 | 4,5 | -25,3 | 2,6 | 6,0 | 132,6 |
| | т | 0,25–0,50 | 7,99 | 8,04 | 0,6 | 184 | 83 | -54,9 | 7,1 | 4,5 | -36,0 | 10,1 | 1,6 | -84,5 |
| | т | 0,50–0,75 | 8,06 | 7,99 | -0,9 | 130 | 88 | -32,2 | 2,9 | 3,7 | 29,2 | 6,5 | 8,7 | 33,5 |
| | т | 0,75–1,00 | 8,18 | 7,96 | -2,7 | 109 | 71 | -35,1 | 1,8 | 3,0 | 65,4 | 2,4 | 1,5 | -37,9 |
| | т | 1,00–1,25 | 8,35 | 8,04 | -3,7 | 82 | 71 | -13,7 | 1,9 | 2,2 | 15,4 | 2,4 | 1,0 | -60,6 |
| | т | 1,25–1,50 | 8,40 | 7,98 | -5,0 | 79 | 63 | -20,1 | 2,1 | 2,6 | 23,0 | 4,1 | 0,7 | -82,4 |
| | т | 1,50–1,75 | 8,34 | 8,04 | -3,6 | 81 | 78 | -4,0 | 2,2 | 4,8 | 116,8 | 3,3 | 0,9 | -72,7 |
| | т | 1,75–2,00 | 8,32 | 7,93 | -4,7 | 81 | 73 | -9,8 | 1,5 | 2,8 | 81,6 | 2,0 | 1,0 | -51,5 |
| | т | 2,00–2,25 | 8,34 | 8,03 | -3,7 | 82 | 75 | -8,6 | 1,9 | 2,2 | 18,5 | 1,9 | 0,8 | -58,9 |
| | т | 2,25–2,50 | 8,33 | 7,94 | -4,7 | 77 | 74 | -4,0 | 1,7 | 2,3 | 37,5 | 1,7 | 0,9 | -46,4 |
| | т | 2,50–2,75 | 8,22 | 8,19 | -0,4 | 89 | 82 | -7,7 | 2,5 | 1,8 | -26,1 | 3,0 | 1,8 | -40,6 |
| | т | 2,75–3,00 | 8,18 | 8,43 | 3,1 | 101 | 90 | -10,6 | 1,5 | 1,4 | -9,9 | 2,7 | 2,7 | -1,8 |
| | т | 3,00–3,25 | 8,06 | 8,36 | 3,7 | 114 | 107 | -6,6 | 1,4 | 2,3 | 56,9 | 2,4 | 1,9 | -21,3 |
| т | 3,25–3,50 | 8,08 | 8,16 | 1,0 | 109 | 140 | 28,5 | 4,0 | 2,1 | -46,3 | 4,1 | 2,4 | -43,2 | |

Продолжение таблицы 6.2.3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----------|------|------|------|-----|-----|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| | Т | 3,50–3,75 | 8,09 | 8,10 | 0,1 | 121 | 135 | 11,3 | 3,5 | 3,6 | 0,6 | 3,9 | 2,6 | -31,9 |
| | Т | 3,75–4,00 | 8,18 | 8,53 | 4,3 | 110 | 83 | -24,5 | 2,1 | 2,7 | 31,3 | 3,4 | 8,3 | 148,2 |
| | УТ | 4,00–4,25 | 8,19 | 8,35 | 2,0 | 119 | 103 | -13,9 | 3,8 | 1,9 | -48,5 | 4,5 | 1,1 | -76,3 |
| | Т | 4,25–4,50 | 8,19 | 8,34 | 1,8 | 119 | 104 | -12,9 | 3,8 | 1,7 | -56,0 | 4,5 | 1,1 | -75,0 |
| | Т(Ч) | 4,50–4,75 | 8,03 | 7,98 | -0,6 | 140 | 147 | 4,6 | 2,2 | 1,5 | -33,9 | 3,0 | 4,3 | 42,4 |
| | УТ | 4,75–5,00 | 8,40 | 8,04 | -4,3 | 105 | 148 | 41,0 | 2,0 | 2,5 | 22,6 | 2,9 | 3,1 | 6,5 |
| | УТ | 5,00–5,25 | 8,40 | 8,09 | -3,7 | 105 | 150 | 42,6 | 2,0 | 3,5 | 72,6 | 2,9 | 1,9 | -34,7 |
| | УТ | 5,25–5,50 | 8,40 | 8,34 | -0,7 | 105 | 107 | 2,0 | 2,0 | 2,8 | 39,8 | 2,9 | 2,0 | -30,6 |
| | УТ | 5,50–5,75 | 8,40 | 8,44 | 0,5 | 105 | 103 | -2,4 | 2,0 | 8,3 | 314,9 | 2,9 | 1,3 | -54,0 |
| НЗ | Т | 0,00–0,25 | 8,00 | 7,85 | -1,9 | 300 | 175 | -41,7 | 8,3 | 9,3 | 12,5 | 10,5 | 8,1 | -22,9 |
| | Т | 0,25–0,50 | 8,08 | 8,19 | 1,4 | 345 | 184 | -46,6 | 19,8 | 6,8 | -65,8 | 14,6 | 10,8 | -26,0 |
| | Т | 0,50–0,75 | 8,02 | 8,26 | 3,0 | 216 | 131 | -39,2 | 8,4 | 3,6 | -57,4 | 6,3 | 3,1 | -49,9 |
| | Т | 0,75–1,00 | 8,11 | 8,28 | 2,1 | 147 | 108 | -26,7 | 4,0 | 2,5 | -38,9 | 3,0 | 2,2 | -27,8 |
| | Т | 1,00–1,25 | 8,12 | 8,34 | 2,7 | 148 | 109 | -26,6 | 4,4 | 3,4 | -23,3 | 2,9 | 3,2 | 11,5 |
| | Т | 1,25–1,50 | 8,15 | 8,36 | 2,6 | 133 | 132 | -1,0 | 4,5 | 10,8 | 142,2 | 3,1 | 14,4 | 358,6 |
| | Т | 1,50–1,75 | 8,30 | 8,26 | -0,5 | 107 | 176 | 64,2 | 4,6 | 11,5 | 152,7 | 4,8 | 22,4 | 364,7 |
| | Т | 1,75–2,00 | 8,19 | 8,24 | 0,6 | 133 | 124 | -7,0 | 4,6 | 5,3 | 15,6 | 3,8 | 12,2 | 225,3 |
| | Т | 2,00–2,25 | 8,13 | 8,26 | 1,6 | 141 | 117 | -17,2 | 5,5 | 4,1 | -26,5 | 6,9 | 6,6 | -4,9 |
| | Т | 2,25–2,50 | 8,18 | 8,38 | 2,4 | 134 | 98 | -27,2 | 3,9 | 3,1 | -21,4 | 3,5 | 4,1 | 16,1 |
| | Т | 2,50–2,75 | 8,15 | 8,29 | 1,7 | 136 | 115 | -15,4 | 4,0 | 5,9 | 47,6 | 2,9 | 5,4 | 85,6 |

Продолжение таблицы 6.2.3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-----------|------|------|------|-----|-----|-------|------|-----|-------|------|------|-------|
| | Т | 2,75–3,00 | 8,10 | 8,24 | 1,7 | 154 | 127 | -17,5 | 4,6 | 4,2 | -9,5 | 4,0 | 6,7 | 68,3 |
| | Т | 3,00–3,25 | 8,19 | 8,26 | 0,9 | 129 | 122 | -5,3 | 5,0 | 3,7 | -25,1 | 3,0 | 4,6 | 54,9 |
| | Т | 3,25–3,50 | 8,09 | 8,26 | 2,1 | 171 | 101 | -40,9 | 3,7 | 1,6 | -56,7 | 5,4 | 2,9 | -46,5 |
| | УТ | 3,50–3,75 | 8,23 | 8,30 | 0,9 | 119 | 124 | 4,4 | 8,3 | 4,9 | -41,0 | 22,8 | 2,7 | -88,2 |
| | УТ | 3,75–4,00 | 8,23 | 8,30 | 0,9 | 119 | 124 | 4,4 | 8,3 | 4,9 | -41,0 | 22,8 | 2,7 | -88,2 |
| | УТ | 4,00–4,25 | 8,23 | 8,42 | 2,3 | 119 | 92 | -22,9 | 8,3 | 1,5 | -82,3 | 22,8 | 2,5 | -89,2 |
| | Т (Ч) | 4,25–4,50 | 8,10 | 8,42 | 4,0 | 134 | 92 | -31,6 | 3,0 | 1,5 | -50,8 | 2,5 | 2,5 | -2,4 |
| | ОМО | 4,50–4,75 | 8,16 | 8,41 | 3,1 | 129 | 81 | -36,9 | 2,7 | 2,1 | -21,5 | 2,4 | 1,1 | -53,5 |
| | Сугли нок | 4,75–5,00 | 8,40 | 8,41 | 0,1 | 83 | 81 | -2,2 | 2,2 | 2,1 | -1,9 | 1,7 | 1,1 | -33,3 |
| Н4 | Т | 0,00–0,25 | 7,73 | 7,90 | 2,2 | 388 | 185 | -52,4 | 7,4 | 8,0 | 8,5 | 24,6 | 10,8 | -56,1 |
| | Т | 0,25–0,50 | 7,79 | 8,14 | 4,4 | 294 | 150 | -49,1 | 10,7 | 5,5 | -48,3 | 18,9 | 7,9 | -58,2 |
| | Т | 0,50–0,75 | 7,89 | 8,37 | 6,1 | 240 | 115 | -52,3 | 10,1 | 3,1 | -69,6 | 13,0 | 5,0 | -61,5 |
| | Т | 0,75–1,00 | 8,08 | 8,33 | 3,1 | 127 | 108 | -15,2 | 3,4 | 2,5 | -26,5 | 5,3 | 2,0 | -63,2 |
| | Т | 1,00–1,25 | 8,18 | 8,26 | 1,0 | 128 | 115 | -10,5 | 1,9 | 2,8 | 49,7 | 2,7 | 3,3 | 18,6 |
| | Т | 1,25–1,50 | 8,03 | 7,97 | -0,7 | 132 | 144 | 9,3 | 3,5 | 3,4 | -1,4 | 4,5 | 3,3 | -27,3 |
| | Т | 1,50–1,75 | 8,03 | 8,13 | 1,2 | 139 | 146 | 5,3 | 3,7 | 5,0 | 34,9 | 3,6 | 3,5 | -4,7 |
| | Т | 1,75–2,00 | 8,08 | 8,16 | 1,0 | 128 | 142 | 11,2 | 2,7 | 2,8 | 3,3 | 2,7 | 2,7 | 0,0 |
| | Т | 2,00–2,25 | 8,02 | 8,21 | 2,4 | 143 | 122 | -14,6 | 3,8 | 5,3 | 40,5 | 5,4 | 2,6 | -52,0 |
| | Т | 2,25–2,50 | 8,06 | 8,06 | 0,0 | 131 | 159 | 21,2 | 5,6 | 4,2 | -25,5 | 6,6 | 3,0 | -54,3 |

Продолжение таблицы 6.2.3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-----------|------|------|------|-----|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|
| | T | 2,50–2,75 | 8,04 | 8,25 | 2,6 | 121 | 131 | 7,9 | 4,6 | 2,5 | -45,1 | 5,0 | 2,9 | -42,3 |
| | T | 2,75–3,00 | 8,07 | 8,20 | 1,6 | 158 | 144 | -8,7 | 5,1 | 2,8 | -44,6 | 9,5 | 3,0 | -68,8 |
| | T | 3,00–3,25 | 8,22 | 8,27 | 0,6 | 117 | 114 | -2,9 | 4,0 | 2,8 | -30,6 | 3,0 | 1,5 | -50,0 |
| | T | 3,25–3,50 | 8,20 | 8,20 | 0,0 | 118 | 122 | 3,7 | 3,0 | 2,4 | -20,2 | 2,0 | 1,3 | -31,6 |
| | T | 3,50–3,75 | 8,25 | 8,28 | 0,4 | 113 | 119 | 5,6 | 3,8 | 2,2 | -42,3 | 5,0 | 1,3 | -74,4 |
| | T | 3,75–4,00 | 8,18 | 8,29 | 1,3 | 117 | 117 | -0,1 | 3,6 | 7,4 | 104,4 | 3,1 | 1,7 | -46,5 |
| | T (Ч) | 4,00–4,25 | 8,05 | 8,28 | 2,8 | 146 | 112 | -23,3 | 3,6 | 4,8 | 32,6 | 3,3 | 1,7 | -49,1 |
| | T | 4,25–4,50 | 7,92 | 8,26 | 4,3 | 167 | 107 | -35,8 | 3,7 | 2,2 | -41,6 | 3,6 | 1,7 | -53,1 |
| | T | 4,50–4,75 | 8,43 | 8,62 | 2,3 | 84 | 63 | -24,9 | 1,3 | 1,3 | -0,8 | 2,0 | 1,0 | -51,5 |
| H5 | T | 0,00–0,25 | 7,89 | 7,85 | -0,5 | 280 | 164 | -41,4 | 18,8 | 8,9 | -52,7 | 21,0 | 7,4 | -64,8 |
| | T | 0,25–0,50 | 7,94 | 7,85 | -1,1 | 323 | 164 | -49,2 | 11,5 | 8,9 | -22,6 | 8,9 | 7,4 | -16,4 |
| | T | 0,50–0,75 | 8,13 | 8,16 | 0,4 | 139 | 147 | 5,7 | 6,7 | 5,3 | -21,1 | 3,7 | 4,7 | 27,0 |
| | T | 0,75–1,00 | 8,21 | 8,22 | 0,1 | 125 | 119 | -4,6 | 5,8 | 3,2 | -44,9 | 4,5 | 2,5 | -45,1 |
| | T | 1,00–1,25 | 8,23 | 8,25 | 0,2 | 120 | 119 | -1,0 | 5,7 | 2,8 | -50,0 | 5,7 | 2,0 | -64,3 |
| | T | 1,25–1,50 | 8,23 | 8,44 | 2,6 | 117 | 89 | -24,2 | 4,5 | 2,7 | -41,4 | 4,0 | 2,2 | -44,4 |
| | T | 1,50–1,75 | 8,16 | 8,36 | 2,5 | 128 | 89 | -30,8 | 5,0 | 2,6 | -47,5 | 3,1 | 2,0 | -35,7 |
| | T | 1,75–2,00 | 8,23 | 8,31 | 1,0 | 107 | 89 | -17,1 | 4,5 | 2,0 | -55,2 | 3,3 | 2,2 | -32,1 |
| | T | 2,00–2,25 | 8,23 | 8,29 | 0,7 | 120 | 103 | -14,1 | 4,0 | 2,8 | -29,2 | 3,2 | 1,5 | -54,2 |
| | T | 2,25–2,50 | 8,20 | 8,20 | 0,0 | 121 | 116 | -4,0 | 4,4 | 2,5 | -41,9 | 5,6 | 2,1 | -62,0 |
| | T | 2,50–2,75 | 8,14 | 8,25 | 1,4 | 139 | 120 | -13,5 | 4,5 | 3,2 | -29,3 | 3,6 | 2,2 | -39,1 |

Продолжение таблицы 6.2.3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-----------|------|------|------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|
| | т | 2,75–3,00 | 8,30 | 8,17 | -1,6 | 130 | 129 | -0,9 | 3,9 | 2,6 | -32,7 | 2,7 | 2,0 | -24,9 |
| | т | 3,00–3,25 | 8,17 | 8,16 | -0,1 | 143 | 120 | -16,1 | 4,9 | 2,8 | -43,3 | 4,1 | 1,8 | -56,8 |
| | т | 3,25–3,50 | 8,17 | 8,16 | -0,1 | 122 | 131 | 7,5 | 3,7 | 2,8 | -23,1 | 2,5 | 1,4 | -43,1 |
| | ут | 3,50–3,75 | 8,14 | 8,19 | 0,6 | 128 | 126 | -2,0 | 8,2 | 2,3 | -72,2 | 9,7 | 1,1 | -88,4 |
| | т | 3,75–4,00 | 8,17 | 8,05 | -1,5 | 130 | 155 | 18,9 | 6,9 | 3,0 | -56,4 | 5,7 | 1,8 | -68,7 |
| | т | 4,00–4,25 | 8,15 | 8,05 | -1,2 | 134 | 155 | 15,4 | 4,0 | 3,0 | -26,0 | 3,3 | 1,8 | -45,8 |
| | т(ч) | 4,25–4,50 | 8,03 | 8,03 | 0,0 | 170 | 165 | -3,1 | 5,7 | 2,8 | -50,1 | 5,0 | 1,8 | -64,5 |
| | т(ч) | 4,50–4,75 | 8,13 | 8,07 | -0,7 | 146 | 149 | 1,8 | 5,4 | 2,3 | -56,6 | 4,7 | 1,8 | -61,9 |
| | т(ч) | 4,75–5,00 | 8,11 | 8,16 | 0,6 | 142 | 46 | -67,8 | 7,0 | 1,1 | -84,4 | 6,3 | 1,1 | -83,1 |
| | ОМО | 5,00–5,25 | 8,06 | 8,56 | 6,2 | 132 | 54 | -59,3 | 3,7 | 0,8 | -78,0 | 3,5 | 1,1 | -68,3 |

Примечание: *ЕС* – удельная электропроводимость; грунт: т – торф; т(б) – торф белого цвета; т(ч) – торф черного цвета; ут – переувлажненный торф; ОМО – органо-минеральные отложения.

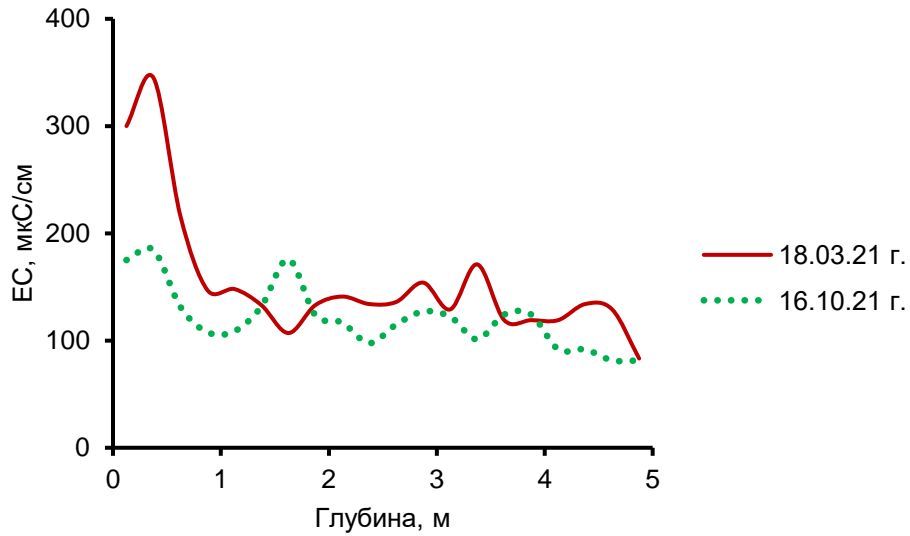


Рисунок 6.2.2 – Изменения удельной электропроводности водных вытяжек из торфов Обского болота по глубине (центральной) скважины НЗ в 18.03.2021 и 16.10.2021

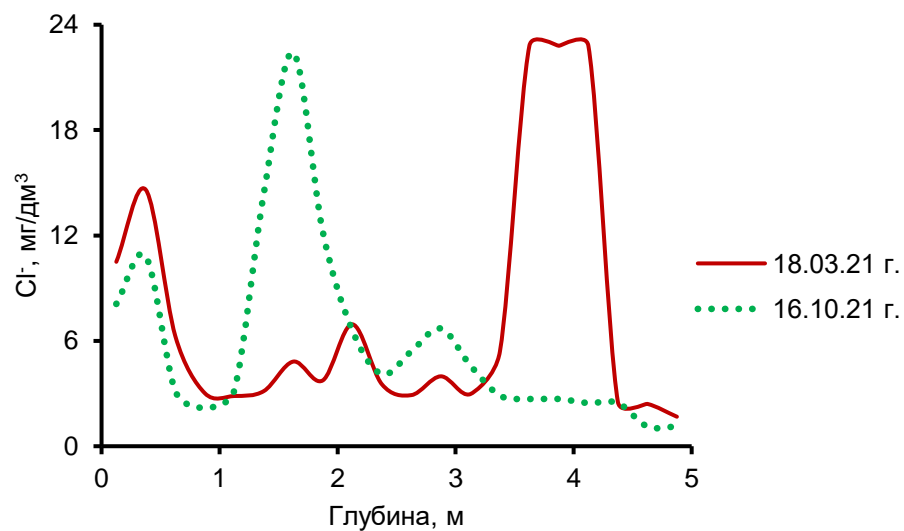


Рисунок 6.2.3 – Изменения концентраций Cl⁻ в водных вытяжках из торфов Обского болота по глубине (центральной) скважины НЗ в 18.03.2021 и 16.10.2021

Анализ ранее полученной информации и опубликованных материалов других авторов [Schirrer et al., 2007] позволяет сделать вывод о наличии линз пересыщенного водой торфа в разных частях Обского болота – как по территории, так и по глубине. Формирование линз, судя по минерализации болотных и подземных вод [Ермашова, 1998; Горохова, Зятева, 2001; Колоколова, 2003; Schvartsev, 2008; Состояние геологической..., 2014], связано с притоком напорных подземных вод из отложений палеогенового и, видимо, мелового возраста, а также грунтовых вод (из четвертичных отложений) и поверхностных вод с прилегающей к болоту территории. Механизм этого явления объясняется в разделе 4.2 (рис. 4.2.2). В зависимости от

напора подземных вод, влагосодержания и фильтрационных свойств минеральных и торфяных грунтов эти воды перераспределяются в болотной среде, причем их влияние наиболее устойчиво в течение года вблизи от внешней границы болота. По мере удаления от границы роль случайных факторов возрастает, что, вероятно, и приводит к большей изменчивости физико-химических и геохимических показателей в скважинах Н4 и Н5.

Таким образом, повышенные концентрации Na^+ и Cl^- в интервале глубин 1,50–2,0 м (в основном – в интервале 1,50–1,75 м) в скважине Н3 можно объяснить как накоплением раствора NaCl , выпущенного 19.03.21 г., так и смещением линзы переобводненного торфа ближе к поверхности болота. Для проверки этих гипотез в водных вытяжках из торфов были дополнительно определены концентрации Ca^{2+} в предположении, что их изменение синхронно с Na^+ и Cl^- может свидетельствовать, скорее, в пользу второй гипотезы. Это связано со следующим: 1) подземные воды палеогеновых отложений в этом районе по минерализации – от пресных со средней и повышенной минерализацией до солоноватых, а по составу – гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные натриевые; 2) соотношение Na^+ и Ca^{2+} , безусловно, может варьировать по мере изменения минерализации и ряда других причин, но увеличение Na^+ и Cl^- вследствие притока подземных вод, тем не менее, должно сопровождаться и заметным ростом содержания Ca^{2+} . Однако сопоставление полученных материалов показало, что в скважине Н3 значимое увеличение концентраций Ca^{2+} в интервале глубин 1,50–1,75 м не прослеживается (рис. 6.2.4). С учетом этого более вероятно накопление Na^+ и Cl^- в результате инфильтрации раствора NaCl на глубину до 2,0 м, причем в течение 211 суток концентрация раствора NaCl уменьшилась от 20 г/дм³ до содержаний Na^+ 11,5 мг/дм³ и Cl^- 22,4 мг/дм³.

В водных вытяжках из торфов, отобранных в скважинах Н1, Н2, Н4, Н5 (вершинах квадрата с центром в скважине Н3), статистически значимые изменения значений рН, удельной электропроводности, концентраций Na^+ и Cl^- , явно связанные с выпуском раствора NaCl , а не с флуктуациями природных факторов, в целом не обнаружены. Так, относительное увеличение концентраций Na^+ и Cl^- отмечено в интервалах глубин 0,50–0,75 м и 3,75–4,00 м в скважине Н1, расположенной ниже по уклону от скважины Н3. Подобные тенденции характерны и для скважины Н2, расположенной выше по уклону от скважины Н3 ближе к внешней границе болота, но не выявлены для скважины Н5 (ниже по уклону от Н3 на удалении от внешней границы болота). Таким образом, влияние выпуска раствора NaCl ограничено участком с площадью существенно меньше 1 га и глубиной торфяной залежи до 2,0 м (рис. 6.2.5).

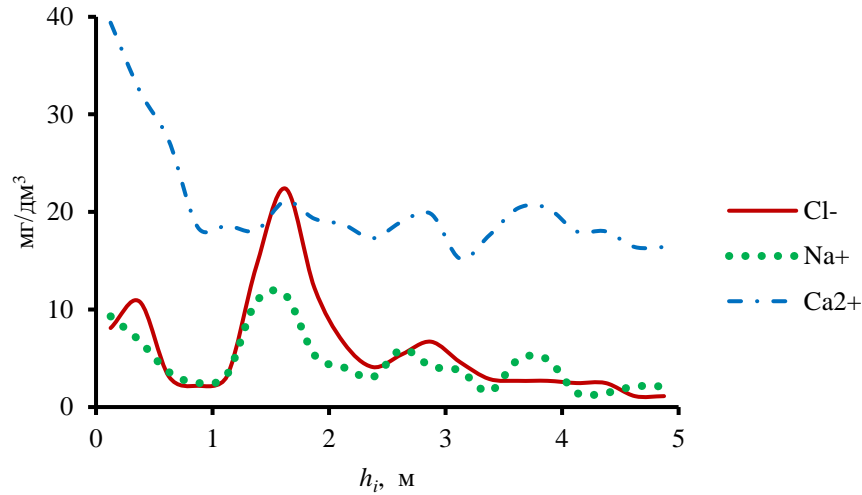


Рисунок 6.2.4 – Изменение концентраций Ca^{2+} , Na^+ и Cl^- в водных вытяжках из торфов в скважине НЗ 16 октября 2021 г.

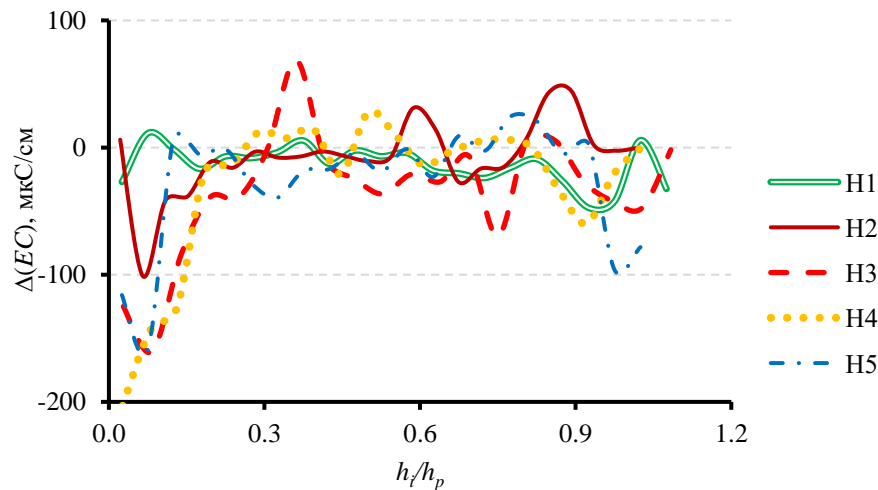


Рисунок 6.2.5 – Изменение удельной электропроводности водных вытяжек из торфов по скважинам Н1–Н5 с марта по октябрь 2021 ($\Delta(EC) = EC_{16.10.21} - EC_{18.03.21}$; $EC_{\text{дата}}$ – удельная электропроводность на дату отбора пробы воды)

В работе [Савичев, Гусева, 2020] было сделано предположение, что олиготрофное болото в условиях таежной зоны в Западной Сибири способно «справиться» в течение 3–5 лет с загрязнением в виде разового поступления нефтепродуктов до 16–17 тонн. Полученные автором совместно с О.Г. Савичевым и другими сотрудниками ТПУ результаты в целом подтверждают этот вывод. Причем с учетом ранее полученных данных о влиянии сбросов хозяйственно-бытовых стоков в с. Мельниково [Савичев и др., 2013; Иванова и др., 2020; Savichev et al., 2020]

можно утверждать, что евтрофные долинные болота обладают не меньшей, по сравнению с олиготрофными водораздельными болотами, способностью к самоочищению.

Так, многолетний сброс хозяйственно-бытовых стоков в Обское болото у с. Мельниково (по крайней мере, с 1940-х гг.) привел к заметному увеличению значений ряда геохимических показателей болотных вод и торфов в верхней части торфяной залежи на участке, ограниченном в основном: вдоль р. Оби – створом около 400 м к северу от выпуска стоков; по поперечному профилю речной долины – створом примерно в 500–700 м от внешней границы болота (рис. 5.1.3, 6.2.6, 6.2.7). Разовое же поступление в это болото относительно небольшого количества растворенных солей, как показало рассматриваемое исследование, оказывает на эколого-геохимическое состояние евтрофной болотной экосистемы еще меньшее влияние (на границе достоверного выявления).

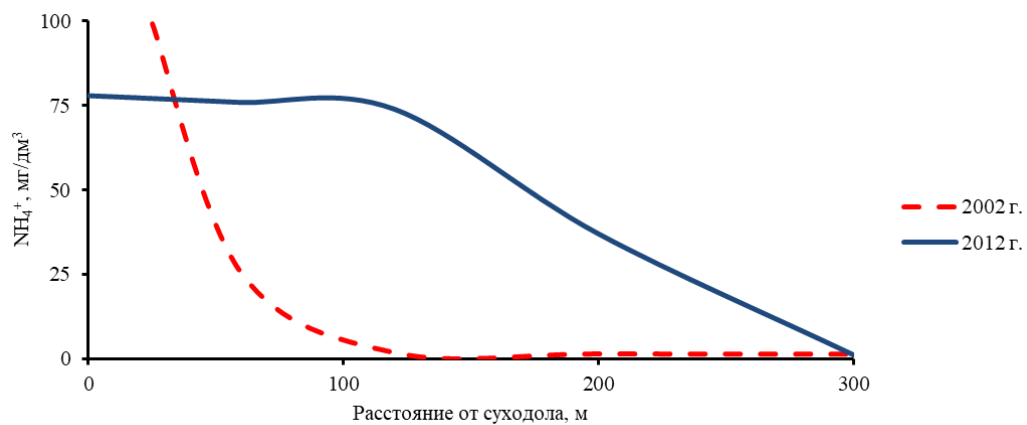


Рисунок 6.2.6 – Изменение концентраций NH_4^+ в болотных водах в створе вдоль дороги Мельниково – Старая Шегарка 29.09.2002 г. и 16.11.2012 г. [Савичев и др., 2013]

Таким образом, выпуск 50 л раствора NaCl с концентрацией 20 г/дм^3 на поверхность евтрофного Обского болота 19 марта 2021 г. привел к формированию по состоянию на 16 октября 2021 г. непосредственно в этом месте (скважина НЗ) относительно повышенных содержаний Na^+ и Cl^- в деятельном горизонте торфяной залежи и в интервале глубин 1,50–2,00 (в основном, в интервале 1,50–1,75 м). Скважина НЗ расположена в центре квадрата со сторонами 100 м. В вершинах этого квадрата (то есть на удалении от скважины НЗ около 70 м) статистически значимые изменения значений рН, удельной электропроводности EC , концентраций Na^+ и Cl^- в болотных водах, явно связанные с выпуском раствора NaCl у скважины НЗ, не выявлены.

Вместе с тем, установлено заметное влияние на эколого-геохимическое состояние евтрофного Обского болота притока подземных вод. Это влияние наиболее ощутимо и устойчиво в течение зимы – весны – лета и осени 2021 г. по линии скважин Н1–Н2 на удалении 100 м от внешней границы Обского болота и наименее – по линии скважин Н4–Н5 на удалении 200 м от

границы болота. Оно проявляется как непосредственно за счет поступления вод с минерализацией около 1 г/дм^3 , так и косвенно – путем изменения условий функционирования болотной экосистемы, следствием чего, вероятно, является неравномерное по территории и глубине распределение фильтрационных свойств и влагосодержания грунтов, концентраций химических элементов и соединений (например, содержания фосфатов и карбонатов, в свою очередь, оказывающих влияние на процессы растворения и осаждения).

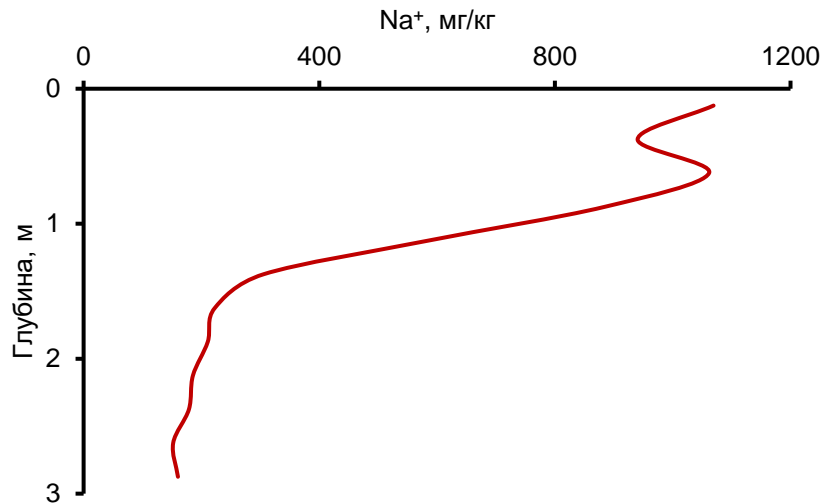


Рисунок 6.2.7 – Изменение по глубине торфяной залежи концентраций Na^+ в кислотных вытяжках из торфов загрязненных торфов Обского болота у с. Мельниково 26.11.2018 г. (по данным [Savichev et al., 2020])

С учетом материалов эксперимента и результатов анализа гидрогеодинамических условий была рассмотрена модель стационарной гидродисперсии (6.2.1) с аналитическим решением (6.2.2) [Шестаков, 2009; Лехов, 2010; Lerman, 1979; Benedini, Tsakiris, 2013]:

$$D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} - k_C \cdot n \cdot C = 0, \quad (6.2.1)$$

$$C_x = C_0 \cdot \exp\left(\frac{v}{2 \cdot D} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot k_C \cdot n \cdot D}{v^2}}\right) \cdot x\right), \quad (6.2.2)$$

$$D = D_m + \delta_D \cdot v, \quad (6.2.3)$$

где C_x , C_0 – концентрации вещества в подземной воде на расстоянии x от границы болота ($x=0$); v – скорость фильтрации; D – коэффициент гидродисперсии; D_m – коэффициент молекулярной диффузии (принят по данным [Lerman, 1979]); δ_D – параметр поперечной дисперсии (принят, согласно [Шестаков, 2009], как середина интервала $0,034 - 0,20 \text{ мм}$); k_C – константа скорости реакции; n – активная пористость грунта. Её апробация выполнена для содержаний Fe и NH_4^+ по данным табл. 5.1.1 (C_0 – средняя концентрация в болотных водах, C_x – средняя концентрация в

подземных водах четвертичных отложений) с учетом отбора проб подземных вод (в с. Мельниково) в среднем в 500 м от границы болота. Параметр $kc \cdot n$ определен в среде MS Excel подбором методом общего понижающего градиента. Коэффициент фильтрации принят для слоя 18,68 м (по рис. 4.1.4 *b* как разница между высшей точкой профиля 90 м и минимальным среднемесячным уровнем воды р. Обь 71,32 м) в размере 26,541 м/сут по зависимости на рис. 4.1.7. Скорость фильтрации определена по формуле Дарси в размере 0,065 м/сут (уклон $J=(75,03-73,72)/538,5=0,002434$ м; приводится с округлением; 75,03 м – отметка поверхности болот; 73,72 м – отметка пересечения кривой депрессии подземных вод (Z4 а рис. 4.1.6) от скважины 63р до отметки 71,32 м на границе болота и от поверхности болота в сторону скважины 63р до отметки 71,32 м (Z6 а рис. 4.1.6); и 538,5 м – расстояние от границы болота до отметки 73,72 м; уровни воды показаны на рис. 4.1.6). Полученные результаты моделирования (при относительной ошибке менее 1%) свидетельствуют о более чем 20-кратном снижении концентраций Fe в 800–900 м от границы болота и достижении ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения в 1150 м от неё. Достаточно заметно снижаются и концентрации NH_4^+ (рис. 6.2.8).

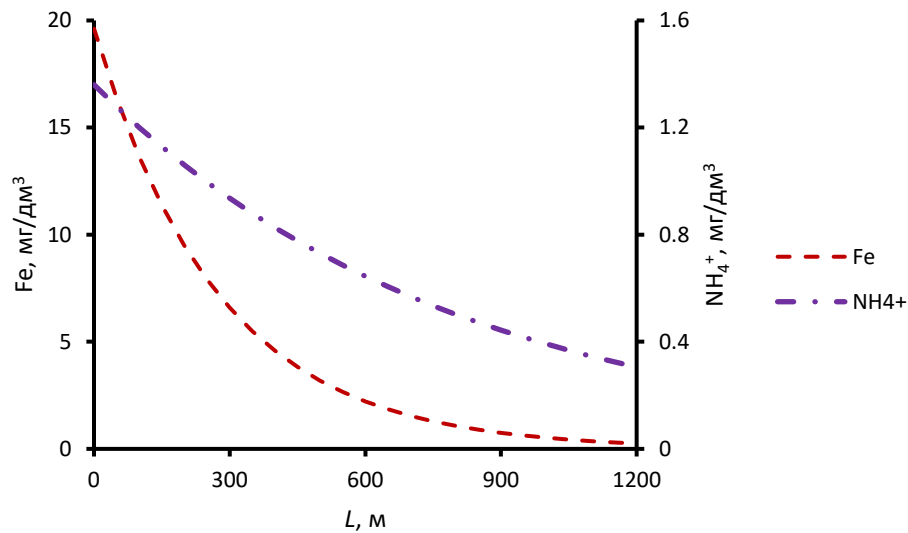


Рисунок 6.2.8 – Расчетное изменение концентраций Fe и NH_4^+ в грунтовых водах от границы Обского болота в сторону водораздела

В целом, на основе анализа данных гидрогеохимических наблюдений наблюдений, результаты которого изложены в главе 5, и материалов изучения механизмов аккумуляции веществ в ветландах в водосборе озера Поян и в Обском болоте сформулировано *третье защищаемое положение*: **болота юго-востока Западной Сибири (РФ) и водно-болотные угодья в водосборе озера Поян (КНР) характеризуются значительной способностью к самоочищению, вследствие чего загрязнение в первом случае обычно приурочено к**

верхней части торфяной залежи до глубин 1,5–2,0 м, а во втором – снижается с уменьшением диаметра частиц грунта; в случае кратковременного загрязнения болот и водно-болотных угодий антропогенное влияние на подземные воды маловероятно, а в случае длительного загрязнения – наиболее ощутимо для грунтовых вод суходолов на границе низинных болот.

Выводы

На основе данных геохимических исследований, выполненных в 2021–2023 гг., проведены обобщение и анализ данных о гидрогеодинамических и гидрогеохимических условиях на заболоченных территориях на юго-востоке Западной Сибири (Томская область, РФ) и в водосборе озера Поян (провинция Цзянси, КНР). В результате показано, что в исследуемом районе Сибири взаимодействие поверхностных и подземных вод в разрезе в основном ограничено глубинами 110–120 м, а в плане приурочено к участкам переменного напора подземных вод на границе болот, причем влияние болотных вод на режим подземных вод наиболее вероятно в летне-осеннюю межень, когда возможен переток болотных вод в сторону от долинного болота к водоразделу на участках 800–900 м, а также увеличивается инфильтрация.

Установлено, что наибольшее влияние подземных вод на химический состав болотных вод на юго-востоке Западной Сибири характерно для краевых частей низинных долинных болот, где происходит разгрузка напорных подземных вод с более высокими, по сравнению с болотными водами, значениями минерализации и рН, наименьшее – для водораздельных верховых болот. Напротив, болота оказывают существенное воздействие на состояние, преимущественно, грунтовых вод, что проявляется в снижении их минерализации и рН. В водосборе озера Поян значимое влияние водно-болотных угодий связано, в основном, с поступлением в грунтовые воды соединений фосфора и снижением рН.

В целом, изученные болота характеризуются значительной способностью к самоочищению, вследствие чего загрязнение в Сибири обычно приурочено к верхней части торфяной залежи до глубин 1,5–2,0 м, а в водосборе озера Поян – снижается с уменьшением диаметра частиц грунта; в случае кратковременного загрязнения болот и водно-болотных угодий антропогенное влияние на подземные воды маловероятно, а в случае длительного загрязнения – наиболее ощутимо для грунтовых вод суходолов на границе низинных болот.

Список литературы

1. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
2. Альбом аэрофотоснимков растительного покрова торфяных месторождений центральной части Западной Сибири. – М.: Геолторфразведка, 1973. – 83 с.
3. Афанасьева, Т.В. Почвы СССР / Т.В. Афанасьева, В.И. Василенко, Т.В. Тершина Т.В., Б.В. Шеремет. -Москва: Мысль, 1979. – 380 с.
4. Балобаненко, А.А. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения юга Западно-Сибирского артезианского бассейна: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук / А.А. Балобаненко. – Томск: ТПУ, 2018. – 22 с.
5. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. – М.: Академкнига, 2006. – 397 с.
6. Веницианов, Е.В. Физико-химические процессы в поверхностных водах // Водные проблемы на рубеже веков / Е.В. Веницианов. – М.: Наука, 1999. – С. 241–255 с.
7. Веретенникова, Е.Э. Геохимические особенности торфяных залежей олиготрофных болот южно-таежной зоны Западной Сибири / Е.Э. Веретенникова, И.В. Курьина, Е.А. Дюкарев, Е.А. Головацкая, С.В.Смирнов // Геохимия. – 2021. – Т. 66. – № 6, С. 562–576. DOI: 10.31857/S0016752521050095.
8. Вернадский, В.И. Химические элементы, их классификация и формы их нахождения в земной коре // Очерки геохимии / В.И. Вернадский. – Л.: Горгеонефтеиздат, 1934. – С. 23–50.
9. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода – порода: в 5 томах. Т.2. Система вода – порода в условиях зоны гипергенеза / отв. ред. Б.Н. Рыженко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
10. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. В 5 т. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / отв. ред. С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
11. Гидро- и инженерно-геологические условия юго-запада Западно-Сибирской равнины / отв. ред. В.М. Матусевич. – Новосибирск: Наука, 1987. – 129 с.
12. Гидрогеология СССР. Т. 16. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / под ред. В.А. Нуднера. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
13. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель / под ред. К.Е. Иванова. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 447 с.
14. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада

России (на примере болота Ламмин-Суо) / под ред. С.М. Новикова, В.И. Батуева. – СПб.: Свое издательство, 2019. – 448 с.

15. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / под ред. Т.В. Гусевой. – М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2007. – 192 с.

16. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных сред. – М.: Наука, 1982, С. 7-28.

17. Горохова И.В., Зятева О.Ф. Геохимия минеральных вод верхнемеловых отложений в с. Мельниково Томской области // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 110–113.

18. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence. – М.: Стандартиформ, 2010. – 109 с.

19. ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 25 с.

20. ГОСТ 17.1.2.04.-77. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. – М.: Изд-во стандартов. 1977. – 17 с.

21. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнённость. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.

22. ГОСТ 17644-83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 12 с.

23. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. – М.: Госстандарт СССР, 1988. – 47 с.

24. ГОСТ 21123-85. Торф. Термины и определения. Peat. Terms and definitions. – Москва: Издательство стандартов, 1985. – 85 с.

25. ГОСТ 24482-80. Макроклиматические районы земного шара с тропическим климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. Macroclimatic regions of the world with tropic climate. Regionalizing and statistical parameters of climatic factors for technical purposes. – М: Издательство стандартов, 1981 . – 76 с.

26. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Soils. Classification. – М.: Стандартиформ, 2013 . – 85 с.

27. ГОСТ 28492-90. Геохимические методы поисков твёрдых полезных ископаемых.

Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2006. – 5 с.

28. ГОСТ 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 34 с.

29. ГОСТ Р 53795-2010. Изучение недр геологическое. Термины и определения. Geological study of subsurface. Terms and definitions. - М.: Стандартиформ, 2010. – 28 с.

30. ГОСТ Р 59054–2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов. Environmental protection. Surface and underground water. Classification of water bodies. Дата введения 2021-04-01. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 21 с.

31. Гусева, Н.В. Механизмы формирования химического состава природных вод в различных ландшафтно-климатических зонах горно-складчатых областей центральной Евразии: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. Наук / Н.В. Гусева. – Томск, 2018. – 43 с.

32. Домаренко, В.А. Комплексные руды Бакчара: история и перспективы / В.А. Домаренко, А.Я. Пшеничкин, В.П. Дмитриенко // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2019. № 22. С. 37–50.

33. Драйвер, Дж. Геохимия природных вод / пер. с англ. / Дж. Драйвер. – М.: Мир, 1985. – 440 с.

34. Дунин, Ф.Х. Моделирование инфильтрации в приближении к полевым условиям // Грани гидрологии / Ф.Х. Дунин. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 241–275.

35. Дутова, Е.М. Гидрогеохимия зоны гипергенеза Алтае-Саянской складчатой области: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Е.М. Дутова. – Томск, 2005. – 46 с.

36. Емельянова, Т.Я. Характеристики фильтрационных свойств торфов Томской области / Т.Я. Емельянова, В.В. Крамаренко // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 36–39.

37. Ермашова, Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Н.А. Ермашова. – Томск: ТГРЭ, 1998. – 44 с.

38. Зверев, В.П. Массопотоки подземной гидросферы / В.П. Зверев. – М.: Наука, 1999. – 97 с.

39. Зверев, В.П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии / В.П. Зверев. – М.: Научный мир, 2011. – 260 с.

40. Здвижков, М.А. Гидрогеохимия Васюганского болотного массива: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук / М.А. Здвижков. – Томск, 2005. – 23 с.

41. Зельдович, Я.Б. Элементы прикладной математики / Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д.. – М.: Наука, 1972. – 592 с.

42. Иванов, К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К.Е. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.

43. Иванова, И.С. Железосодержащие подземные воды юго-восточной части Среднеобского бассейна: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / И.С. Иванова. – Томск: ТФ ИГНГ СО РАН, 2013. – 22 с.
44. Иванова, И.С. Условия трансформации коммунально-бытовых сточных вод в болотных экосистемах (на примере Обского болота, Западная Сибирь) / И.С. Иванова, О.Г. Савичев, Е.А. Солдатова, Н.Г. Наливайко, Д.С. Корнеев, Н.В. Гусева, Н.А. Смирнова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т.331. – № 3. – С. 39–51. DOI 10.18799/24131830/2020/3/2530.
45. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1965. – 228 с.
46. Камнева, О.А. Многолетние изменения гидрогеологических условий Среднеобского бассейна: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / О.А. Камнева. – Томск, 2012. – 19 с.
47. Караушев, А.В. Речная гидравлика / А.В. Караушев. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.
48. Карта торфяных месторождений Западной Сибири. Масштаб 1:1000000: объяснительная записка / под ред. Р.Г. Матухина. – Новосибирск: Изд-во СО РАН: Филиал «Гео», 2000. – 33 с.
49. Климат Томска / под ред. С.Д. Кошинского, Л.И. Троифионовой, Ц.А. Швер. – Ленинград: Гидрометеиздат. 1982. – 176 с.
50. Климатические характеристики Земного шара. Азия (без СССР), Африка, Австралия, Океания, Южная Америка. Справочник для синоптиков / под ред. А.Н. Лебедева. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 320 с.
51. Колоколова, О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / О.В. Колоколова. – Томск, 2003. – 21 с.
52. Копылова, Ю.Г. Гидрогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / Ю.Г. Копылова, Н.В. Гусева. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2014. – 184 с.
53. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
54. Кузеванов К.К. Изменение геохимических условий при эксплуатации подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / К.К. Кузеванов. – Томск, 2022. – 23 с.
55. Кузин, П.С. Географические закономерности гидрологического режима / П.С. Кузин, В.И. Бабкин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
56. Лапшина, Е.Д. К экологической оценке современного состояния и истории

развития речных пойм / Е.Д. Лапшина // Сибирский экологический журнал. – 1995. – № 4. – С. 297–304.

57. Лепокурова О.Е. Содовые подземные воды юго-востока Западной Сибири: геохимия и условия формирования: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / О.Е. Лепокурова. – Томск, 2018. – 43 с.

58. Лехов, А.В. Физико-геохимическая гидрогеодинамика / А.В. Лехов. – М.: КДУ, 2010. – 500 с.

59. Лисс, О.Л. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О.Л. Лисс, Л.И. Абрамова, Н.А. Аветов, Н.А. Березина, Л.И. Инишева, Т.В. Курнишкова, З.А. Слуга, Т.Ю. Толпышева, Н.К. Шведчикова. – Тула: Гриф и К, 2001. – 584 с.

60. Лиштван, И.И. Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. – 304 с.

61. Лиштван, И.И. Физические процессы в торфяных залежах / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, В.И. Косов. – Минск: Наука и техника, 1989. – 287 с.

62. Львов, Ю.А. Болотные ресурсы / Ю.А. Львов // Природные ресурсы Томской области / отв. ред. И.М. Гаджиев, А.А. Земцов. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – С. 67–83.

63. Льготин, В.А. Многолетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области / В.А. Льготин, О.Г. Савичев, Ю.В. Макушин // Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 23–29.

64. Маккавеев, А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии / А.А. Маккавеев. – М.: Недра, 1971. – 216 с.

65. Мананков, А.В. Краткий словарь терминов по геоэкологии и экологической безопасности / А.В. Мананков, В.П. Парначев. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2006. – 155 с.

66. Марков, В.Д. Торфяные ресурсы мира / В.Д. Марков, А.С. Оленин, Л.А. Оспенникова, Е.И. Скобеева, П.И. Хорошев. – Москва: Недра, 1988. – 383 с.

67. Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 248 с.

68. Мезенцев, В.С. Гидрологические расчёты в мелиоративных целях / В.С. Мезенцев. – Омск: Изд-во Омского СХИ, 1982. – 84 с.

69. Мелиорация и водное хозяйство. В 5 т. Т. 3. Осушение / под ред. Б.С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.

70. Мелиорация и водное хозяйство. В 5 т. Т. 5. Водное хозяйство / под ред. И.И. Бородавченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 399 с.

71. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и

микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. – М.: МПР РФ, 2008. – 35 с.

72. Методика расчета водохозяйственного баланса водных объектов. – М.: МПР России, 2007. – 41 с.

73. Методические рекомендации по расчёту платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. – М.: Госкомэкологии, 1998. – 13 с.

74. Методическое руководство по геологической съёмке и поискам. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 507 с.

75. Мироненко, В.А. Проблемы гидрогеоэкологии. Т.1 / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин. – М.: МГГУ, 1998. – 230 с.

76. Моисеева, Ю.А. Изменения подземного стока таежной зоны Западной Сибири в голоцене: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук / Ю.А. Моисеева. – Томск, 2018. – 22 с.

77. Монин, А.С. О математическом моделировании процессов гидрологии суши // Теория и методы управления ресурсами вод суши / А.С. Монин. – М.: Наука, 1982, С. 20 – 28.

78. Московченко, Д.В., Бабушкин А.Г., Убайдулаев А.А. Солевое загрязнение поверхностных вод на нефтяных месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин, А.А. Убайдулаев // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44. – №1. – С. 91–102. DOI: 10.7868/S0321059617010102.

79. Мотузова, Н.В. Соединения микроэлементов в почвах. Системная организация, экологическое значение, мониторинг / Н.В. Мотузова. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 168 с.

80. Наймушина, О.С. Геохимическая эволюция природных вод нижней части бассейна реки Томи: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук / О.С. Наймушина. – Томск, 2014. – 22 с.

81. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 264 с.

82. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 718 с.

83. Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири / отв. ред. М.И. Нейштадт. – М.: Наука, 1977. – 227 с.

84. Национальный атлас России. В 4-х томах. Т. 1. Общая характеристика территории. – Москва: Роскартография, ФГУП «ГОСГИСЦЕНТР», 2005.

85. Никаноров, А.М. Химический состав органических и минеральных веществ иловых отложений незагрязненных водных объектов / Никаноров А.М., Страдомская А.Г. // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 1. – С. 71–77.

86. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 г. / отв. ред. Г.М. Черногаева. – М.: Росгидромет, 2021. – 205 с.

<http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2020.pdf>.

87. Овчинников, А.М. Общая гидрогеология / А.М. Овчинников. – М.: Госгеолтехиздат, 1955. – 383 с.
88. Орлова, В.В. Западная Сибирь / В.В. Орлова. Вып. 4. Климат СССР. – Л.: Гидромеоиздат, 1962. – 360 с.
89. Основные гидрологические характеристики. Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 488 с.
90. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика / Гавич И.К., Зекцер И.С., Ковалевский В.С., Язвин Л.С., Пиннекер Е.В., Бондаренко С.С., Боровский Л.В., Дзюба А.А. / под ред. И.С. Зекцера. – Новосибирск: Наука, 1983. – 241 с.
91. Панченко, Е.М. Эколого-хозяйственный баланс Обь-Томского междуречья / Е.М. Панченко, А.Г. Дюкарев // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 123–129. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-4(123-129).
92. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1979. – 423 с.
93. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: «Высшая школа», 1975. – 342 с.
94. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. СанПиН 2.1.4.1074-01. С изм. На 28.06.2010. – М.: Минздрав РФ, 2010. – 255 с.
95. Плюснин, А.М. Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие. (на примере Забайкалья) / А.М. Плюснин, В.И. Гунин. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2001. – 137 с.
96. Подземные воды мира. Ресурсы, использование, прогнозы / под ред. И.С. Зекцера. – Москва: Наука, 2007. – 438 с.
97. Поликарпочкин, В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния / В.В. Поликарпочкин. – Новосибирск: Наука. 1976. – 407 с.
98. Пологова, Н.Н. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота / Н.Н. Пологова, Е.Д. Лапшина // Большое Васюганское болото. – Томск: ИОА СО РАН, 2002. – С. 174–186.
99. Пособие к СНиП 2.05.03-84 по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). – М.: ГУПиКС, 1992. – 374 с.
100. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобановой. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 448 с.
101. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных

объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 93 с.

102. Природные условия освоения междуречья Обь – Иртыш / отв. ред. М.И. Нейштадт, Г.Д. Рихтер. – Москва: Институт географии АН СССР, 1972. – 400 с.

103. Притула, Т.Ю. Физическая география материков и океанов / Т.Ю. Притула, В.А. Ерёмкина, А.Н. Спрялин. – М.: ВЛАДОС, 2004. – 686 с.

104. Р 52.24.353-2012. Отбор проб поверхностных вод и очищенных сточных вод. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Росгидромет. – Ростов-на-Дону: ФГБУ «ГХИ», 2012. – 34 с.

105. Рассказов, Н.М. Гидрогеохимия рудных районов юга Западной и Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Н.М. Рассказов. – Томск, 1993. – 45 с.

106. Рассказов, Н.М. Основные геидрогеологические и гидрогеохимические особенности торфяных месторождений центральной части Обь-Иртышского междуречья и некоторые вопросы гидрогеохимических исследований болот / Н.М. Рассказов, П.А. Удодов, Т.Я. Емельянова, А.Д. Назаров, В.А. Шамолин // Подземные воды Сибири и Дальнего Востока / отв. ред. И.С. Ломоносов, Н.А. Маринов, Е.В. Пиннекер. – Москва: Наука, 1971, С. 229 – 232.

107. РД 52.24.609-99. Методические указания. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 33 с.

108. РД 52.24.622-2019. Порядок проведения расчетов условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ "ГХИ", 2019. – 85 с.

109. Реймерс, Н.Ф. Природопользование / Н.Ф. Реймерс. – Москва: Мысль, 1990. – 637 с.

110. Рекомендации по методике оценки и прогноза гидрогеологических условий при подтоплении городских территорий. – М.: Стройиздат, 1983. – 194 с.

111. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 2. Средняя Обь / под ред. Н.А. Паниной. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. – 408 с.

112. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / отв. ред. Е.В. Пиннекер. – М.: Наука, 1991. – 262 с.

113. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 357 с.

114. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 93 с.

115. Румынин, В.Г. Теория и методы изучения загрязнения подземных вод / В.Г.

Румынин. – СПб.: Наука, 2020. – 559 с.

116. Рычагов, Г.И. Общая геоморфология / Г.И. Рычагов. – М.: МГУ, 2006. – 416 с.
117. Савенко, А.В. Экспериментальное изучение сорбции Hg на минеральных взвешях в зоне смешения речных и морских вод / А.В. Савенко // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. – № 6. – С. 755–758.
118. Савенко, В.С. Геохимические проблемы глобального гидрологического цикла / В.С. Савенко // Проблемы гидрологии и гидроэкологии / под ред. Н.И. Алексеевского. – М.: МГУ, 1999, С. 48–72.
119. Савичев, О.Г. Вертикальная зональность и внутригодовые изменения химического состава вод Тимирязевского болота (Томск, Западная Сибирь) / О.Г. Савичев, А.В. Шмаков // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 1, С. 156–156.
120. Савичев, О.Г. Вещественный состав торфов Тимирязевского болота (Томск, Западная Сибирь) / О.Г. Савичев, М.А. Рудмин, А.К. Мазуров, А.С. Федченко, А.С. Рубан, А.Б. Даулетова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 3. – С. 51–61. DOI: 10.18799/24131830/2021/3/3101.
121. Савичев, О.Г. Водные ресурсы Томской области / О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. – 248 с.
122. Савичев, О.Г. Геохимические показатели болотных вод в таёжной зоне Западной Сибири / О.Г. Савичев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 4. С. 47–57. DOI: 10.15356/0373-2444-2015-4-47-57.
123. Савичев, О.Г. Гидрогеологические и гидрологические условия функционирования Обского и Баксинского болот (юго-восток Западно-Сибирской равнины) / О.Г. Савичев, Хэн Ян // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2021 – Т.332. - №4. – С. 43-56. DOI 10.18799/24131830/2021/04/3147.
124. Савичев, О.Г. Гидроэкологическое обоснование водохозяйственных решений / О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та. 2021. – 167 с.
125. Савичев, О.Г. Гидроэкологическое состояние междуречья рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, Луен Ван Нгуен // Известия Томского политехнического университета. – 2015а. – Т. 326. – №7, С. 96-103.
126. Савичев, О.Г. Изменения химического состава кислотных вытяжек по глубине торфяной залежи внутриболотных экосистем Васюганского болота (Западная Сибирь) / О.Г. Савичев, А.К. Мазуров, М.А. Рудмин, А.А. Хващевская, А.Б. Даулетова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 9, С. 101–116.
127. Савичев, О.Г. Методология оценки фактического и допустимого влияния хозяйственной деятельности на химический состав и качество пресных природных вод / О.Г.

Савичев // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8 (3). – С. 704–708.

128. Савичев, О.Г. Методология управления геохимическим балансом водосборов на территории Западной Сибири / О.Г. Савичев, Н.В. Гусева // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2020. – Т. 331. – № 5. – С. 28–45. DOI 10.18799/24131830/2020/5/2634.

129. Савичев, О.Г. О методике определения фоновых и аномальных значениях гидрохимических показателей / О.Г. Савичев, В.Л. Нгуен // *Известия Томского политехнического университета*. – 2015b. – Т. 326. – №9, С. 133-142.

130. Савичев, О.Г. Проблемы нормирования сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты / О.Г. Савичев // *Вода: химия и экология*. – 2010. - № 9. – С. 35–39.

131. Савичев, О.Г. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами / О.Г. Савичев, О.В. Колоколова, Е.А. Жуковская // *Геоэкология*. – 2003. – № 2. – С. 108–119.

132. Савичев, О.Г. Способ оценки допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом состояния донных отложений / О.Г. Савичев, Дань Чжоу // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов* – 2021. – Т. 332. – № 6. – С. 107–117. DOI 10.18799/24131830/2021/06/3241.

133. Савичев, О.Г. Химический состав вод Обского болота (Западная Сибирь) и его пространственные изменения под влиянием сбросов загрязняющих веществ / О.Г. Савичев, Н.В. Гусева, Е.А. Куприянов, А.А. Скороходова, К.В. Ахмед-Оглы // *Известия Томского политехнического университета*. – 2013 – Т. 323. – № 1. – С. 168–172.

134. Савичев, О.Г. Химический состав и качество подземных вод в междуречье рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, Луен Ван Нгуен // *Вестник Томского гос. ун-та*. – 2015с. – № 398. – С.251-256.

135. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утверждены Постановлением от 28 января 2021 г. № 2. Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 62296. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Главный государственный санитарный врач Российской Федерации, 2021. – 1025 с.

136. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Госэпиднадзор Минздрава России, 2000. 24 с.

137. *Словарь геологических терминов и понятий* / под ред. В.П. Парначёва. – Томск: Изд-во ТГУ, 1995. – 83 с.

138. Солдатова, Е.А. Физико-химические свойства донных отложений и почв

заболоченных территорий района озера Поян (Китай) / Е.А. Солдатова, А.С. Торопов // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXV Международно-го симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2021. С. 81-84.

139. Солдатова, Е.А. Формирование химического состава подземных вод района озера Поян (Китай): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Е.А. Солдатова. – Томск, 2016. – 22 с.

140. Солдатова, Е.А. Формы миграции химических элементов в водах заболоченных территорий района озера Поян (Китай) / Е.А. Солдатова, Е.С. Сидкина, И.С. Иванова, Ц. Ли, Дон, Чж. Сунь // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. Геологический институт СО РАН. – Улан-Удэ, 2020. С. 309-312.

141. Солдатова, Е.А. Химический состав вод заболоченных территорий района озера Поян (Китай) / Е.А.Солдатова, И.С. Иванова, И. Дон, Ц. Ли // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2020. С. 394-395.

142. Солнцева, Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н.П. Солнцева. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.

143. Состояние геологической среды (недр) на территории Сибирского федерального округа в 2018 г. Информационный бюллетень. Вып. 15 / под ред. В.А. Льготина. – Томск: Филиал «Сибирский региональный центр ГМСН», ФГБУ «Гидроспецгеология», 2019. – 218 с.

144. Состояние геологической среды (недр) на территории Томской области в 2000 г. Вып. 6 / под ред. В.А. Льготина. – Томск: Территориальный центр «Томскгеомониторинг», 2001. – 180 с.

145. Состояние геологической среды (недр) на территории Томской области в 2015 г. Вып. 21 / под ред. В.А. Льготина. – Томск: АО «Томскгеомониторинг», 2015. – 80 с.

146. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Building climatology. Дата введения 2021-06-25. ФАУ "ФЦС". www.faufcc.ru по состоянию на 18.02.2021. – М.: Минстрой РФ, 2021. – 178 с.

147. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2019. – 86 с.

148. СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.

149. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова,. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.

150. Страховенко, В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озёр Сибири. Автореф. дис. доктора геол.-мин. наук / В.Д. Страховенко. – Новосибирск: Институт

геологии и минералогии СО РАН, 2011. – 30 с.

151. Сысуев, В.В. Процессы формирования и параметры ландшафтно-геохимического барьера низинного болота / В.В. Сысуев // Геохимия. – 2021. – Т. 66. – № 7, С. 646–658. DOI: 10.31857/S0016752521060108.

152. Технический регламент Всемирной метеорологической организации. Том III. Гидрология. ВМО № 49. – Секретариат ВМО: Женева – Швейцария, 2006. – 130 с.

153. Торфяные ресурсы Томской области и их использование / Л.И. Инишева, В.С. Архипов, С.Г. Маслов, Л.С. Михантьева. – Новосибирск: Сибирское отделение РАСХН, 1995. – 88 с.

154. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000 / отв. ред. Э.К. Буренков. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 92 с.

155. Фадеев, В.В. Зависимость минерализации и ионного состава воды рек от их водного режима / В.В. Фадеев, М.П. Тарасов, В.Л. Павелко. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.

156. Федеральный закон «О недрах» № 2396-1. – М.: Гос. Дума РФ, СФ, 2011. – 64 с.

157. Федеральный закон № 74-ФЗ. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 25.06.2012 г.). – М.: Гос. Дума РФ, СФ, 2012. – 54 с.

158. Харанжевская, Ю.А. Подземный сток бассейна р. чая (Западная Сибирь) и его многолетняя изменчивость: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Ю.А. Харанжевская. – Томск, 2011. – 20 с.

159. Шайхиев, И.Р. Эколого-геохимические исследования природных сред района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) / И.Р. Шайхиев, Л.П. Рихванов // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 5, С. 62–78.

160. Шайхиев, И.Р. Эколого-геохимическое состояние компонентов природной среды Бакчарского района на территории предполагаемого освоения ресурсов железной руды: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / И.Р. Шайхиев. – Томск, 2017. – 22 с.

161. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – Москва: Недра, 1998. – 366 с.

162. Шварцев, С.Л. Общая гидрогеология / С.Л. Шварцев. – М.: Альянс, 2012. – 601 с.

163. Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика / В.М. Шестаков. – М.: КДУ, 2009. – 334 с.

164. Шишов, В.А. Охрана окружающей среды в территориальном Западно-Сибирском комплексе / В.А. Шишов, В.Ю. Шеметов, В.И. Рябченко, В.П. Парфенов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1988. – 50 с.

165. Шишов, В.А. Охрана окружающей среды в территориальном Западно-Сибирском комплексе / В.А. Шишов, В.Ю. Шеметов, В.И. Рябченко, В.П. Парфенов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1988. – 50 с.

166. Шмаков, А.В. Гидрогеохимический режим заболоченных территорий в подтаежной зоне Западной Сибири (на примере Тимирязевского болота у г. Томска): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук / А.В. Шмаков. – Томск, 2016. – 21 с.
167. Янин, Е.П. Русловые отложения равнинных рек / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2002а. – 139 с.
168. Янин, Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки) / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2002б. – 52 с.
169. Янкович, Е.П. Эколого-геохимическая оценка природной среды гидрогеоэкологического полигона «Томский» с использованием геоинформационных технологий: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Е.П. Янкович. – Томск, 2017. – 22 с.
170. Allen, R.G. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements / R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith // FAO Irrigation and drainage. Water Resources, Development and Management Service FAO. – 1998. – № 56. – P. 1–276.
171. Antipin, V.S. Geochemistry and Formation Conditions of Rare-Metal Granites with Various Fluorine-Bearing Minerals (Fluorite, Topaz, and Cryolite)[J] / V.S. Antipin, E.A. Savina, M.A. Mitichkin // Geochemistry International. – 2006. – 44(10). – P. 965-975.
172. Benedini, M. Water Quality Modelling for Rivers and Streams / M. Benedini, G. Tsakiris. – Dordrecht: Springer, 2013. – 288 p.
173. Bi, Hua Orogenesis-basinogenesis in mount Lu-Poyang lake in north Jiangxi / Bi Hua, Tan Keren, Wu Qianhong, [et al.]. Jiangxi Geology, 1996, 10 (1) : 3-12p.[на китайском].
174. Bleuten, W. Ecosystem recovery and natural degradation of spilled crude oil in peat bog ecosystems of West Siberia / W. Bleuten, E. Lapshina, W. Ivens, V. Shinkarenko, E. Wiersma // International Peat Journal. – 1999. – № 9. – P. 73–82.
175. Braden, J.B. Agricultural Sources of Water Pollution / J.B. Braden, J.S. Shortle. – . 2013. – 25(99). – P. 81-85.
176. Cai Lulu, Zhao Junkai, Miao Jiahui. The temperature change characteristics and spatial differences in the Poyang Lake Basin from 1954 to 2013 [J]. Journal of Shangrao Normal University, 2017,37(06):89-95.
177. Cai, L. The temperature change characteristics and spatial differences in the Poyang Lake Basin from 1954 to 2013 / Cai Lulu, Zhao Junkai, Miao Jiahui. // Journal of Shangrao Normal University. – 2017. – 37(06). – P. 89-95.
178. China Forestry Network [cited date 2014-06-12]
179. China: Jiangxi (Prefectures, Cities, Districts and Counties) – Population Statistics, Charts and Map // City Population – Population Statistics in Maps and Charts for Cities, Agglomerations and Administrative Divisions of all Countries of the World / Ed. T. Brinkhoff [Электронный ресурс].

<https://www.citypopulation.de/en/china/jiangxi/admin/> (дата обращения 26.05.2021).

180. Coldewey W.G., Gobel P. Hydrogeologische Gelände- und Kartiermethoden. – Berlin: Springer Spektrum, 2015. – 221 p. DOI: 10.1007/978-3-8274-2728-1.
181. Dong, Y. Bacterial diversity and community structure in nitrate-contaminated shallow groundwater in the Poyang lake basin, China / Y. Dong, J. Li, Z. Sun, J. Zan, E. Soldatova // E3S Web of Conferences. 2019. C. 01012. doi: 10.1051/e3sconf/20199801012.
182. Dutova, E.M. Geochemistry of fresh groundwater in the Altai–Sayan folded area and adjacent areas of the West Siberian plate / E.M. Dutova // Applied Geochemistry. – 2020. – V. 120. – 104673. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104673.
183. Ecosystem recovery and natural degradation of spilled crude oil in peat bog ecosystems of West Siberia / W. Bleuten, E. Lapshina, W. Ivens, V. Shinkarenko, E. Wiersma // International Peat Journal. – 1999. – № 9. – P. 73–82.
184. Ephraim, J.H. Metal Ion Binding by Humic Substances / J.H. Ephraim, B. Allard // Modelling in Aquatic Chemistry / Eds. I. Grenthe, I. Puigdomenech. – Paris, France: OECD, Nuclear Energy Agency, 1997. – P. 207–244.
185. GB 5749-2006. Standards for drinking water quality. National standard of the People`s Republic of China. People`s Republic of China. 2007. 16 p.
186. GB/T 14848-2017, Groundwater quality standard[S].
187. Geological memoirs. Series 1. Number 2. Regional geology of Jiangxi province. – Beijing: Geological publishing house, 1984. – 922 p. – (People`s Republic of China, Ministry of Geology and Mineral Resources. Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources).
188. González, A.G. Iron adsorption onto soil and aquatic bacteria: XAS structural study / A.G. González, O.S. Pokrovsky, F. Jiménez-Villacorta, L.S. Shirokova, J.M. Santana-Casiano, M. González-Dávila, E.E. Emnova // Chemical Geology. – 2014. – no. 372. – pp. 32–45. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2014.02.013.
189. Grenthe, I. Symbols, standards and conventions / I. Grenthe, I. Puigdomenech // in Modelling in aquatic chemistry / ed. I. Grenthe, I. Puigdomenech. – Paris: Nuclear energy agency, 1997, Pp. 35–68.
190. Guide to Hydrological Practices. Vol. I. Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. WMO-No. 168. Sixth edition. 2008, World Meteorological Organization, Geneva, 296 p.
191. Guznyaeva, M. Features of the chemical composition impurities in natural waters of oil and gas producing territories / M. Guznyaeva, Yu. Turov // 19th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019. Conference proceedings. Science and technologies in geology, exploration and mining, Albena, 30.06–06.07.2019. – Bulgaria, Sofia: СТЕФ92, 2019. P. 185–192. DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.024.

192. GWI-A5, Guidelines for Groundwater Division[S]. Beijing: China Geological Survey, 2004.
193. Hendriks, M.R. Introduction to physical hydrology / M.R. Hendriks. – Oxford; New York: Oxford University Press, 2010. – 331 p.
194. Hou G C, Yin L H, Xu D D. Hydrogeology of the Ordos Basin, China[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2017, 5(2): 104-115.
195. Hu, S. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status / S. Hu, Zh. Niu, Y. Chen, L. Li, H. Zhang. // Science of the Total Environment. – 2017. – Vol. 586. - P. 319–327. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001.
196. Huang Di-pan, Yang Shi-zhuo, Liu Zhong-qing, et al. Geological studies of the formation and development of the three large fresh-water lakes in the lower Yangtze valley [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1965, 7(4):396 ~ 426.
197. Jakob, A. Modelling Solute Transport Using the Double Porous Medium Approach / A. Jacob / in Modelling in aquatic Chemistry / ed. I. Grenthe and I. Puigdomenech. – Paris: Nuclear energy agency, 1997, P. 525 – 576.
198. Jin Jie-feng, Zhan Hui-ying, Ji Wei-tao, et al. Poyang lake in the million miles of the Yangtze River [J]. Forest & Humankind, 2010, 30 (2): 68 ~ 75.
199. Kharanzhevskaya, Yu.A. Spatial and temporal variations in mire surface water chemistry as a function of geology, atmospheric circulation and zonal features in the south-eastern part of Western Siberia / Yu.A. Kharanzhevskaya, E.S. Voistinova, A.A. Sinyutkina // Science of the Total Environment. – 2020. – V. 733. – 139343. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139343.
200. Korn Granino A., Korn Theresa M. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulas for Reference and Review. Originally publ. New York: Mc Graw-Hill, 1968. Reprint in the US by Courier Corporation, 2013. – 1152 p.
201. Kreiling, R.M. Effects of flooding on ion exchange rates in an Upper Mississippi River floodplain forest impacted by herbivory, invasion, and restoration / R.M.Kreiling, N.R. de Jager, W. Swanson, E.A. Strauss, M. Thomsen // Wetlands. – 2015. – V. 35. – P. 1005–1012. DOI 10.1007/s13157-015-0675-x.
202. Lasaga, A.C. Fundamental approaches in describing mineral dissolution and precipitation rates / A.C. Lasaga // Reviews in Mineralogy. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals / Mineralogical Society of America. – 1995. – Vol. 31. – P. 23–86.
203. Lei Pei, Zhang Hong, Wang Chao, Pan Ke. Research progress on the migration and diffusion of pollutants at the sediment-water interface. – Lake Science. – 2018. – Vol. 30. – №6. – P. 1489–1508.
204. Leonova, G.A. Biogeochemistry of holocene peatlands in the baraba forest-steppe

(southern West Siberia) / G.A. Leonova, A.E. Maltsev, Yu.I. Preis, L.V. Miroshnichenko // *Applied Geochemistry*. – 2020. – V. 124. – 104811. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2020.104811.

205. Lerman, A. *Geochemical Processes Water and Sediment Environments* / A. Lerman. – New York : Wiley – Interscience Public, 1979. – 481 p.

206. Li Rongfang, Wu Duniyin, Liu Ying, et al. Analysis of Poyang Lake's Flood Regulation and Storage Function in the Yangtze River[J]. *Hydrology*, 2003,23(6):12-17.

207. Li Xu-sheng, Han Zhi-yong, Yang Da-yuan, et al. Aeolian-dust deposit to the southwest of the Poyang lake during the last glacial ag [J] . *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2006, 26(1):101~108.

208. Li, S. *Scientia sinica mathematica* / Li Siguang // *Scientia Sinica: Mathematica*. –1973. – V. 3 (4). – P. 400-429p. [на китайском].

209. Li, X. Impacts of human activities and climate change on the water environment of Lake Poyang Basin, China / Li X., Zhang Lu, Yang G., Li H., He Bin, Chen Yu., Tang Xu // *Geoenvironmental Disasters*. – 2015. December. 2:22. P. 1 - 12. DOI: 10.1186/s40677-015-0029-2.

210. Li, Y. Research on joint hydrological and hydrodynamic simulation of Poyang Lake watershed system / Li Yunliang. – Beijing: Chinese Academy of Sciences University., 2013, 25(2), 67-75p.[на китайском].

211. Li, Y. Water balance and flashiness for a large floodplain system: A case study of Poyang Lake, China / Li Y., Zhang Qi, Liu X., Yao J. // *Science of the Total Environment* 710 (2020) 135499. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135499.

212. Li, Yu. Evidences of hydraulic relationships between groundwater and lake water across the large floodplain wetland of Po-yang Lake, China / Li Yu., Yao J., Zhao G., Zhang Q. // *Water Science & Technology Water Supply*. – 2017. – July, 18(2). ws2017150. DOI: 10.2166/ws.2017.150.

213. Li. Y. Assessment of water storage response to surface hydrological connectivity in a large floodplain system (Poyang Lake, China) using hydrodynamic and geostatistical analysis / Li Yunliang, Zhang Qi, Yao Jing, Tan Zhiqiang, Liu Xinggen // *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* (2019) 33:2071–2088. DOI: 10.1007/s00477-019-01740-9.

214. Liang X. Sedimento-tectonic features and geological evolution of the Poyang basin/ Liang Xing, E. Zhou, Wu Gen-yao, et al // *Chinese Journal of Geology*. – 2006. – V. 41(3). – P.404-429.

215. Liang, X. Mesozoic evolution of the Ganjiang fault zone and related geodynamic settings / Liang Xing, Wu Genyao, // *Chinese Journal of Geology*. – 2006. – V. 41 (1). – P. 64-80p. [на китайском].

216. Liao, Fu. Estimation of groundwater discharge and associated chemical fluxes into Poyang Lake, China: approaches using stable isotopes (δD and $\delta^{18}O$) and radon / Liao Fu, Wang G., Shi Zh., Cheng G., Kong Q., Mu W., Guo L. // *Hydrogeology Journal*. – 2018. – V. 26. – P. 1625–1638.

DOI: 10.1007/s10040-018-1793-3.

217. Liu, Mao-chang Elementary research of the new tectonic movement of Lushan / Liu, Mao-chang // *Journal of Central China Normal University: Natural Sciences*, 1987, 21(4):603~610.
218. Liu, Y.B. A primary investigation of the formation of frequent droughts in the Lake Poyang Basin in recent decade / Y.B. Liu, X.S. Zhao, G.P. Wu // *Resources and Environment in the Yangtze Basin*. – 2014. – Vol. 23(1). – P. 131– 138.
219. Liu, W.J. The characteristics and evaluation of water pollution in Ganjiang Tail River / Liu W.J., Li Z.B., Zou D.S., Ren C.J., Pei Q.B. // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 3rd International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2017). – 2017. – 82. 012022. P.1-9. doi :10.1088/1755-1315/82/1/012022.
220. Loucks, D.P. Water resources systems planning and management. An introduction to methods, models and applications / D.P. Loucks, E. Van Beek. – Turin: UNESCO Publishing, printed by Ages Arti Grafiche, 2005. – 679 p.
221. Lyne, V. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling / V. Lyne, M. Hollick. In: *Proceedings of the Hydrology and Water Resources Symposium*. – Institution of Engineers National Conference Publication, Canberra, 1979. pp. 89-93.
222. Ma Yilin, Mei Lihui. Soil Erosion and Its Control Measures in Poyang Lake Area[J]. *Geological Hazards and Environmental Protection*, 2003,14(3):31-35.
223. *Manual on Stream Gauging. V. II. Computation of Discharge*. WMO. No. 1044. – Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2010. – 198 p.
224. *Manual on Stream Gauging. Vol. I. Fieldwork*. WMO. No. 1044. – Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2010. – 252 p.
225. Martin H., Pohl R. *Technische Hydromechanik. Hydraulische und numerische Modelle*. – Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2015. – 406 p.
226. Martin, J.-M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers / J.-M. Martin, M. Meybeck // *Mar. chem.* – 1979. – Vol. 7. – P. 173–206.
227. Meng W., He M., Hu B., Mo X., Li H., Liu B., Wang Zh. Status of wetlands in China: A review of extent, degradation, issues and recommendations for improvement. *Ocean & Coastal Management*, 2017, vol. 146, pp. 50–59. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.003> (accessed 1 October 2019).
228. Mezhibor A., Arbuzov S.I., Arkhipov V. Trace elements in peat bogs of Tomsk region (South Siberia, Russia) // *Energy Explor. Exploit.* – 2013. – Vol. 31(4), 629-644.
229. Minayeva, T. Eurasian mires of the Southern Taiga Belt: modern features and response to Holocene palaeoclimate / T. Minayeva, W. Bleuten, A. Sirin, E.D. Lapshina // *Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies*. V. 190 / Eds. J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink,

D.F. Whigham. – Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – P. 315–341.

230. Mujumdar, P.P. Floods in a Changing Climate. Hydrologic Modeling / P.P. Mujumdar, D.N. Kumar. – New York: Cambridge University Press, 2012. – 177 p.

231. Nash, J.E. River flow forecasting through conceptual models. P. I – A discussion of principles / J.E. Nash, J.V. Sutcliffe // *Journal of Hydrology*. – 1970. – № 10 (3). – P. 282–290.

232. Ramesh, R. Distribution of rare earth elements and heavy metals in the surficial sediments of the Himalayan river system / R. Ramesh, Al. Ramanathan, S. Ramesh, R. Purvaja, V. Subramanian // *Geochemical Journal*. – 2000. – Vol. 34. – P. 295–319.

233. REN Ji-shun. On the geotectonics of southern China[J]. *ACTA Geologica Sinica*, 1990, 64 (4):275~288.

234. Robinson B. Solubility, mobility, and bioaccumulation of trace elements: abiotic processes in the rhizosphere / B. Robinson, N. Bolan, S. Mahimairaja, B. Clothier // *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation* / Eds. M.N.V. Prasad, Ravi Naidu, Kenneth S. Sajwan. – New York, USA: Taylor & Francis Group, 2006. – P. 97–110.

235. Russkikh, I.V. Identification of hydrocarbons in the waters of raised bogs in the southern taiga of Western Siberia / I.V. Russkikh, E.B. Strel'nikova, O.V. Serebrennikova, E.S. Voistinova, Y.A. Kharanzhevskaya // *Geochemistry International*. – 2020. – vol. 58. – no. 4. – pp. 447–455. DOI: 10.1134/S0016702920040072.

236. Sabokrouhiyeha, N. A numerical study of the effect of wetland shape and inlet-outlet configuration on wetland performance / N. Sabokrouhiyeha, A. Bottacin-Busolin, J. Savickis, H. Nempf, A. Marion // *Ecological Engineering*. – 2017. – V. 105. – P. 170–179. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.062.

237. Savichev, O. Geochemical barriers in oligotrophic peat bog (Western Siberia) / O. Savichev, E. Soldatova, M. Rudmin, A. Mazurov // *Applied Geochemistry*. – 2020. – V. 113. – 104519. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2019.104519.

238. Savichev, O.G. Influence of the interactions within the water - earth materials system on the formation of river water composition in the Ob basin / O.G. Savichev // *Geography and Natural Resources*. – 2009. – Vol. 30, № 2. – P. 161-166.

239. Savichev, O.G. Mechanisms of Accumulation of Chemical Elements in a Peat Deposit in the Eastern Part of Vasyugan Swamp (West Siberia) / O.G. Savichev, A.K. Mazurov, M.A. Rudmin, N.E. Shakhova, V.I. Sergienko, I.P. Semiletov // *Doklady Earth Sciences*, 2019, Vol. 486, Part 1, pp. 568–570. DOI: 10.1134/S1028334X19050258.

240. Savichev, O.G. Mineralogical and geochemical features of peat deposit of eutrophic the Obskoye fen in anthro-pogenous conditions (the Western Siberia) / O.G. Savichev, M.A. Rudmin, A.K. Mazurov, N.G. Nalivaiko, V.I. Sergienko, I.P. Semiletov // *Doklady Earth Sciences*. 2020. Vol. 492. Part

1, P. 320–322. DOI: 10.1134/S1028334X20050219.

241. Schipper, A.M. Vegetation characteristics and eco-hydrological processes in a pristine mire in the Ob River valley (Western Siberia) / A.M. Schipper, R. Zeefat, F. Tanneberger, J.P. Van Zuidam, W. Hahne, S.A. Schep, S. Loos, W. Bleuten, H. Joosten, E.D. Lapshina, M.J. Wassen // *Plant Ecology*, 2007, vol. 193, pp. 131–145. DOI: 10.1007/s11258-006-9253-x.

242. Semenova, N.M. Western Siberia in the context of global nature conservation concerns / N.M. Semenova // *International Journal of Environmental Studies*. – 201. – V. 71 (5). – P. 595–604. DOI: 10.1080/00207233.2014.950525.

243. Serebrennikova, O.V. Compositional features of fat-soluble organic compounds of the peat of the European north of Russia / O.V. Serebrennikova, S.B. Selyanina, I.V. Russkikh, and E.B. Strel'nikova // *AIP Conference Proceedings (American Institute of Physics Inc.)*. – 2020. – no. 2310. – pp. 020297. DOI: 10.1063/5.0034436..

244. Shang Li. Extreme temperature changes in the Poyang Lake Basin from 1960 to 2018 and their relationship with atmospheric circulation / Shang Lijun, Liao Huamei, Tu Zhe, Zhong Keyuan, Meng Lihong, Du Chao // *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*. – 2021. – V.30(01). – P. 160-171.

245. Shang Li. Extreme temperature changes in the Poyang Lake Basin from 1960 to 2018 and their relationship with atmospheric circulation / Shang Lijun, Liao Huamei, Tu Zhe, Zhong Keyuan, Meng Lihong, Du Chao // *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*. – 2021. – 30(01). – P. 160-171.

246. Shankman, D. River management, landuse change, and fu-ture flood risk in China's Poyang Lake region / D. Shankman, L. Davis, J. De Leeuw // *International Journal of River Basin Management*. – 2009. – Vol. 7. – No. 4. – P. 423–431. DOI: 10.1080/15715124.2009.9635400.

247. Shankman, N.D. Flood frequency in China's Poyang lake region: trends and teleconnections / N.D. Shankman, B.D. Keim, Song Jie // *International journal of climatology*. – 2006. – V. 26. – P. 1255–1266.

248. Shengjie, H. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status / Shengjie Hu, Zhenguo Niu, Yanfen Chen, Lifeng Li, Haiying Zhang // *Science of the Total Environment/* - 2017. – V. 319–327. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001.

249. Sherstyukov, A.B. Correlation of soil temperature with air temperature and snow depth / A.V. Sherstyukov // *Cryosphere of the Earth*. – 2008. – V. 12. – № 1. – P. 79–87.

250. Shvartsev, S. Evolution of the groundwater chemical composition in the Poyang Lake catchment, China / S. Shvartsev, Z. Shen, Z. Sun, G. Wang, E. Soldatova, N. Guseva // *Environmental Earth Sciences*. – 2016. – V. 75 (18). – P. 1239. DOI: 10.1007/s12665-016-6065-8.

251. Shvartsev, S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the

Earth / S.L. Shvartsev // *Geochemistry International*. – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398. doi: 10.1134/S0016702908130016.

252. Šimůnek, J. Modeling nonequilibrium flow and transport processes using HYDRUS / J. Šimůnek, M.Th. Van Genuchten // *Vadose Zone Journal*. – 2008. – V. 7. – № 2. – P. 782–797. DOI:10.2136/vzj2007.0074.

253. SL249-2012, Guidelines for Groundwater Division[S]. Beijing: China Geological Survey, 2004.

254. Soldatova, E. Characteristic features of groundwater pollution in the Poyang Lake catchment / E. Soldatova, N. Guseva, G. Wang // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. XVIII International Scientific Symposium in Honour of Academician M. A. Usov: 21 (2014) 012023. P. 1-6. doi:10.1088/1755-1315/21/1/012023.

255. Soldatova, E. Geochemical conditions of natural wetland and paddy fields in the Poyang Lake area, China / E. Soldatova, Y. Dong, J. Li, I. Ivanova, A. Toropov, I. Gromyak, D. Dogadkin, Z. Sun // *Applied Sciences*. – 2021. – № 3 (1). DOI: 10.1007/s42452-020-04060-8.

256. Soldatova, E. Nitrogen behavior in the shallow groundwater-soil system within agricultural landscapes / E. Soldatova, Dong Y., Li J., Sun Z. // *E3S Web of Conferences* 98, 01046 (2019). DOI: 10.1051/e3sconf/20199801046.

257. Soldatova, E. Shallow groundwater quality and associated non-cancer health risk in agricultural areas (Poyang Lake basin, China) / E. Soldatova, Z. Sun, S. Maier, V. Drebot, B. Gao // *Environ. Geochem. Health*. – 2018. – V. 40. – P. 2223–2242. doi: 10.1007/s10653-018-0094-z.

258. Soldatova, E.A. Ecological-geochemical conditions of surface water and groundwater and estimation of the anthropogenic effect in the basin of the Ganjiang river / E.A. Soldatova, O.G. Savichev, D. Zhou, I.S. Ivanova, J. Li, Y. Dong, Z. Sun // *Water Resources*. 2022. T. 49. № 3. C. 483-492. DOI: 10.1134/S0097807822030149.

259. Soldatova, E.A. Isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) of the shallow groundwater in the Poyang lake basin / E.A. Soldatova, N.V. Guseva, Z. Sun // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – P. 012011.

260. Soldatova, E.A. Size fractionation of trace elements in the surface water and groundwater of the Ganjiang river and Xiushui river basins, China / E.A. Soldatova, I.S. Mazurova, N.V. Guseva, Z. Sun // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2015. - P. 012037.

261. Song, Y. Groundwater dynamics of a lake-floodplain system: Role of groundwater flux in lake water storage subject to seasonal inundation / Y. Song, Qi Zhang, J.M. Melack, Y. Li // *Science of the Total Environment* 857 (2023) 159414. P.1-14. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159414.

262. Sun Zh. Impact of human activity on the groundwater chemical composition of the south part of the Po-yang lake basin / Zh.Sun, E.A. Soldatova, N.V. Guseva, S.L. Shvartsev // *IERI Procedia*.

2014. T. 8. C. 113-118. doi: 10.1016/j.ieri.2014.09.019.

263. Sun, R. The correlation analyses of bacterial community composition and spa-tial factors between freshwater and sediment in Poyang Lake wetland by using artificial neural network (ANN) modeling / R. Sun, Z. Tu, L. Fan, Z. Qiao, X. Liu, S. Hu, G. Zheng, Wu Ya., R. Wang, X. Mi // *Brazilian Journal of Microbiology*. – 2020. – May. – P. 1-17. DOI: 10.1007/s42770-020-00285-2.

264. Tan, Z. Estimation of water volume in ungauged, dynamic floodplain lakes / Z.Tan, J. Melack, Y. Li, X. Liu, B. Chen, Q. Zhang // *Environmental Research Letters*. 2020. - Vol. 15. 054021. DOI 10.1088/1748-9326/ab82cb.

265. Tang Ch. Temporal and spatial distribution characteristics of short-duration heavy precipitation in Jiangxi Province from 1961 to 2015 / Tang Chuanshi, Xu Aihua, Ma Fengmin, Dai Zhijian // *Rainstorm Disasters*. – 2018. – V. 37(05). – P. 421-427.

266. Tang Ch. Temporal and spatial distribution characteristics of short-duration heavy precipitation in Jiangxi Province from 1961 to 2015 / Tang Chuanshi, Xu Aihua, Ma Fengmin, Dai Zhijian // *Rainstorm Disasters*, 2018, 37(05): 421-427.

267. The geological map of Jiangxi Province [Карты] / Jiangxi Provincial Bureau of Geological Exploration and Exploitation for Mineral Resources : Published Report. – Nanchang, China, 1996: JXBGEEMR [на китайском].

268. The hydrogeological map of Poyang Lake area [Карты] / Jiangxi Provincial Bureau of Geological Exploration and Exploitation for Mineral Resources : Published Report. – Nanchang, China, 2013 [на китайском].

269. Wang H. Mesozoic and cenozoic basin formation in east China and adjacent regions and development of the continental margin / Wang Hong-zhen, YANG Sen-nan, LI Si-tian // *Acta Geologica Sinica*. – 1983. – V. 62(3). – P. 213-223.

270. Wang, M. Speciation and Spatial Distribution of Heavy Metals (cu and Zn) in Wetland Soils of Poyang Lake (China) in Wet Seasons / M. Wang, K.Hu, D. Zhang, J. Lai// *Wetlands*. 2017. May. P. 1-10. DOI 10.1007/s13157-017-0917-1.

271. Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2nd edition / Ed. by D. Chapman. UNESCO. WHO. UNEP. – London: Chapman & Hall, 1996, 651 p.

272. Weight, W.D. Hydrogeology Field Manual. 2-nd edition/ W.D. Weight. - USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008. – 751 p.

273. White, Ar.F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils / Ar.F. White // *Reviews in Mineralogy. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*. Mineralogical Society of America. – 1995. – Vol. 31. – P. 405–462.

274. Wu G. Bottom topography change patterns of the Lake Poyang and their influence

mechanisms in recent 30 years / Wu Gui-ping, Liu Yuan-bo, Fan Xing-wang // *Journal of Lake Sciences*. – 2015. – V. 27 (6). – P. 1168-1176.

275. Xin, X. Estimation of non-point source pollution loads with flux method in Danjiangkou Reservoir area, China / Xin Xiao-kang, Yin Wei, Li Ke-feng // *Water Science and Engineering*. – 2017. – V. 10(2), April 2017. – P. 134-142. doi: 10.1016/j.wse.2017.05.001

276. Xiong X. Jiangxi Water System / Xiong Xiaoqun, Yang Rongqing // Wuhan: Changjiang Press, 2007 [на китайском].

277. Xua, J. Uptake and allocation of selected metals by dominant vegetation in Poyang Lake wetland: From rhizosphere to plant tissues / J. Xua, L. Zheng, L. Xu, X. Wang // *Catena*. Volume 189, June 2020, 104477. P. 1-11. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104477.

278. Yan, B. Analysis on water environment capacity of the Poyang Lake / B. Yan, J. Xing, H. Tan, S. Deng, Y. Tan // *Procedia Environ. Sci.* 2011. V. 10. P. 2754–2759.

279. Yang D. The evolution of the Poyang lake in Quaternary/ Yang Da-yuan // *Oceanologia et Limnologia Sinica*. – 1986. – V. 17(5). – P. 429-435.

280. Yang, P. Distribution and ecological risk assessment of PEDCs in the water, sediment and *Carex cinerascens* of Poyang Lake wetland, China / P. Yang // *Scientific Reports* (2019) 9:11302. doi: 10.1038/s41598-019-47864-4.

281. Yang, T. Analysis on the Chemical Characteristics of Shallow Groundwater and Causes of Formation in the Area around Poyang Lake / Yang Tao, Wang Shi-jie // *Meteorological and Environmental Research*. – 2011. – 2(9). – P. 77-80.

282. Yin Zh. Gravity 2D density inversion method based on Tikhonov regularized differential form and its application in Poyang Basin / Yin Zhuo // *Science Technology and Engineering*. – 2013. – V. 13 (8). – P. 2036-2040.
283. Yu, X. Cretaceous extension of the Ganhang Tectonic Belt, southeastern China: constraints from geochemistry of volcanic rocks / Xinqi Yu, Ganguo Wu, Da Zhang, Tiezeng Yan, Yongjun Di, Longwu Wang // *Cretaceous Research*. – 2006. – Vol. 27. – № 5. – P. 663–672.
284. Zemtsov, V.A. Long-term dynamics of maximum flood water levels in the middle course of the Ob River / V.A. Zemtsov, D.A. Vershinin, V.V. Khromykh, O.V. Khromykh // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bio-Clim-Land*. – 2019. – V. 400. – 012004. DOI:10.1088/1755-1315/400/1/012004.
285. Zeng, Z.H. Controlling factors on the formation of groundwater environment background in the area of Poyang Lake / Zeng Z.H., Ding H.W., Duo C.M. et al. // *Hydrogeology & Engineering Geology*, 1990, 17(3):46-48.
286. Zhang Ch. Caiting. Climate Change Characteristics of Hourly Heavy Precipitation in the Poyang Lake Basin from 1978 to 2019 / Zhang Chaomei, Wu Qiong, Huang Caiting // *Meteorology and Disaster Reduction Research*. – 2021. – V. 44(01). – P. 1-8.
287. Zhang M. Porportions of deltas in downwarped basin deposits / Zhang Meihua // *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*. – 2014. – V. 34(3). – P. 44-51.
288. Zhang, H. Spatial character-ization, risk assessment, and statistical source identification of the dissolved trace elements in the Ganjiang River – feeding tributary of the Poyang Lake, China / Zhang H., Jiang Y., Wang M., Wang P., Shi G., Ding M. // *Environ Sci Pollut Res* (2017) 24:2890–2903. DOI 10.1007/s11356-016-7988-z.
289. Zhang, Q. Effect of ground water level on the release of carbon, nitrogen and phosphorus dur-ing decomposition of *Carex. cinerascens* Kükenth in the typical seasonal floodplain in dry season / Q. Zhang, G. Zhang, X. Yu, Y. Liu, Sh. Xia, L. Ya, B. Hu, S. Wan // *Journal of freshwater ecology*. - 2019, Vol. 34, No. 1, 305–322. doi: 10.1080/02705060.2019.1584128.
290. Zhang, X. Historical changes of ancient towns in Poyang Lake / Zhang Xiao-gu, Gao Ping. – Nanchang: Jiangxi People' s Publishing House, 2011 [на китайском].
291. Zhou, T.Z. Cause analysis and treatment of heavy metal pollution in groundwater / T.Z. Zhou, B.Z. Ren, X. Z. Yang // *Advances in Environmental Protection*, 2017, 7(2):79.
292. Zhu, H. Poyang lake / H. Zhu. – Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 1997.
293. Zhu, M. Simulation and Analysis of Water Balance Process in Poyang Lake Basin Based on System Dynamics Method / Zhu Manli, Gao Haiying, Xu Ligang, Zhang Jie, Wu Yongming. // *Water Resources Protection*. – 2015. – V. 31(03). – P. 46-52.

294. Zhu, Y. Prospects for Comprehensive Utilization of Geological Characteristic Resources of Hongxifan Fluorite Mine in Dean County, Jiangxi Province / Zhu Yuansong, Zhu Fei, Zhou Wenjun / *Modern Mining*. – 2019. – V. 35(10). – P. 52-54.