

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

*На правах рукописи*

ЧЖОУ ДАНЬ

**УСЛОВИЯ САМООЧИЩЕНИЯ И ДОПУСТИМОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА  
ГРУНТОВЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ  
ВОДОСБОРА ОЗЕРА ПОЯН КНР И ТОМСКОГО ПРИОБЬЯ РФ)**

1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

Доктор географических наук, профессор

Савичев Олег Геннадьевич

Томск – 2023

## Содержание

Введение.....	3
1. Изученность проблемы оценки самоочищения подземных вод и нормирования антропогенного воздействия на них.....	10
1.1. Терминология и общая постановка проблемы изучения эколого-геохимического состояния водных объектов в зоне гипергенеза.....	10
1.2. Изученность эколого-геохимического состояния грунтовых вод в водосборе озера Поян (КНР, провинция Цзянси) и иных объектов.....	12
2. Объекты и методика исследования.....	15
3. Условия формирования химического состава грунтовых и поверхностных вод в водосборе озера Поян (КНР).....	28
3.1. Административное и географическое положение.....	28
3.2. Климатические и гидрологические условия.....	30
3.3. Геологические и гидрогеологические условия.....	35
3.4. Хозяйственная деятельность и ее влияние на режим и эколого-геохимическое состояние грунтовых вод.....	43
4. Эколого-геохимическое состояние грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян и условия их самоочищения.....	52
4.1. Общая оценка эколого-геохимического состояния грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян.....	52
4.2. Оценка антропогенного влияния на речные и грунтовые воды в водосборе озера Поян.....	76
5. Анализ взаимосвязей между условиями самоочищения грунтовых вод и их водным режимом.....	88
5.1. Связи между водным стоком, морфометрическими характеристиками областей питания и химическим составом подземных вод в г. Томске (РФ) и в водосборе озера Поян (КНР).....	88
5.2. Условия распространения загрязняющих веществ в геосреде (на примере Обского болота, Западная Сибирь).....	95
6. Оценка допустимого поступления загрязняющих веществ в грунтовые и поверхностные водные объекты.....	100
6.1. Фоновый состав грунтовых вод.....	100
6.2. Допустимый сброс загрязняющих веществ в водные объекты.....	102
Выводы.....	107
Список литературы.....	108

## Введение

**Актуальность темы исследования.** Анализ и количественная оценка условий самоочищения являются важным этапом определения допустимых воздействий на водные объекты и планирования водохозяйственных мероприятий. Эти процедуры должны быть научно обоснованными, опираться на данные государственной системы наблюдений и быть встроенными в систему принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

В настоящее время имеется большое количество исследований по этой теме, наиболее полный обзор которых приведен в [Методические основы оценки..., 1987; Вода России. Математическое..., 2001; Земцов, 2004; Loukcs, Van Beek, 2005; Савичев, 2010; Лехов, 2010; Benedini, Tsakiris, 2013; Румынин, 2020]. Кроме того, в законодательствах разных стран введены нормативные документы, в которых содержатся рекомендации по гидрохимическим расчетам. В частности, в Российской Федерации (РФ) используется методика оценки фоновых концентраций  $C_b$  в поверхностных водных объектах [РД 52.24.622-2017] и методика определения нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты  $G_{lim}$  [Методика разработки нормативов допустимых сбросов..., 2020]. Согласно последнему документу, расчет величины  $G_{lim}$  конкретного вещества сводится к определению элементов уравнений (1, 2) с учетом фоновой и предельно допустимой концентрации вещества (ПДК):

$$G_{lim} = C_{w,lim} \cdot q_w = (C_b + n_s \cdot (\text{ПДК} - C_b)) \cdot q_w, \quad (1)$$

$$n_s = n_m \cdot n_0, \quad (2)$$

где  $q_w$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $n_s$ ,  $n_m$ ,  $n_0$  – кратность общего, основного и начального разбавления, соответственно; концентрации вещества ( $C_b$ ,  $C_{w,lim}$ , ПДК) – в мг/дм<sup>3</sup>. В Китайской народной республике (КНР) приняты нормативные документы в области охраны водных объектов [GB 3838-2002; Chinese Academy..., 2003; SL 348-2006], в соответствие с которыми установлены стандарты качества воды для объектов разного назначения и метод расчета максимально допустимого загрязнения рек.

В случае подземных вод разработаны общие требования по их охране [Правила охраны подземных водных объектов..., 2016, 2019], но утвержденные методики, позволяющие количественно оценить условия самоочищения и допустимые воздействия на подземные воды (включая грунтовые), фактически в настоящее время отсутствуют (количественные оценки в основном ограничены расчетом санитарных зон охраны источников водоснабжения и некоторых видов мелиоративных систем).

С учетом этого автором проведено исследование, **цель** которого – определение условий самоочищения и допустимого антропогенного воздействия на грунтовые воды в различных

природных условиях (на примере водных объектов в водосборе озера Поян в пределах зоны переменного-влажных лесов субтропического климатического пояса, Китайская народная республика, и водных объектов подтайги умеренного климатического пояса на юге Томской области, Российская Федерация).

Для достижения этой цели были рассмотрены следующие **задачи исследования**:

1) оценка эколого-геохимического состояния грунтовых и поверхностных вод в различных природных условиях и его сравнительный анализ;

2) выявление взаимосвязей между геохимическими показателями грунтовых и поверхностных вод и условиями их самоочищения в различных природных условиях;

3) разработка методики и непосредственно оценка допустимого антропогенного влияния на эколого-геохимическое состояние грунтовых вод в водосборе озера Поян (КНР).

**Объекты и методы исследования.** Основным объектом исследования являются грунтовые и речные воды в водосборе озера Поян (Китайская народная республика; зона переменного-влажных лесов субтропического пояса) с учётом того, что на этой территории проживает 45,2 млн человек, функционирует большое количество промышленных и сельскохозяйственных предприятий [China: Jiangxi..., 2021], одновременно использующих подземные воды и оказывающих на них негативное влияние. Главное внимание уделено самоочищению грунтовых вод в водосборе озера Поян с учетом взаимодействий в системе «вода – порода». Но, принимая во внимание наличие исходных данных (<sup>1</sup>о химическом составе воды и вытяжек из взаимодействующих с ней грунтов и <sup>2</sup>характеристиках водного стока) были также изучены процессы самоочищения (за счёт разбавления, растворения – осаждения и сорбции – десорбции): 1) рек<sup>1</sup> непосредственно в водосборе озера Поян (реки Ганьцзян и ее приток Цзиньцзян), а также в бассейне реки Красной (Юаньцзян / Хонг) в пределах Социалистической республики Вьетнам (зона переменного-влажных лесов субэкваториального пояса); 2) низинного Обского болота<sup>1,2</sup> на юге Томской области (РФ) – природного объекта: 2.1) с условиями движения воды, аналогичными подземным водоносным горизонтам, но более доступного для изучения (меньшая трудоемкость при бурении и отборе проб грунта и воды); 2.2) по свойствам наиболее близкого к ветландам в водосборе озера Поян; 3) подземных вод<sup>2</sup> в г. Томске с разгрузкой в виде родников (вторая и третья группа объектов при постановке цели и задач исследования были объединены, с учётом географической общности и терминологии, использованной в [Ермашова, 1998; Швацев, 1998], в группу с обозначением «Томское Приобье» – общность водных объектов на границе южной тайги и лесостепи на участке от Обского болота в левобережной части долины Оби до родников в г. Томске на участке нижнего течения крупного притока Оби – реки Томь). При этом мы исходили из того, что выводы о самоочищении грунтовых и поверхностных вод,

полученные в разных природных условиях, являются более обоснованными по сравнению с результатами изучения локальных объектов.

В процессе исследования использовались следующие методы: ландшафтно-геохимический (изучение объектов в разных природных условиях компонентах природно-территориальных комплексов), географо-гидрологический (использование аналогов с учетом природных условий и водного режима), статистический (обработка данных), методы математического моделирования (моделирование как метод изучения процесса с учетом сопоставимости результатов моделирования и измерения), методы химического анализа вод, торфов и донных отложений (масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой, атомно-абсорбционный, ионная хроматография и другие).

**Исходные материалы.** Использованы материалы исследований, выполненных в Томском политехническом университете (ТПУ) в 2013–2023 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, проведенных при непосредственном участии автора в 2021 г. (Обское болото) и 2022 г. (водосбор озера Поян), опубликованные материалы государственного мониторинга и ряда научных организаций в КНР и РФ. При проведении статистического анализа и математического моделирования (после визуальной и статистической проверки) использовались: 1) в водосборе озера Поян: грунтовые воды – 29 проб; речные воды – 13 проб; воды ветландов – 12 проб; водные вытяжки из речных отложений – 4 пробы; 2) Обское болото: за 2002–2021 г. – более 25 проб воды и более 240 проб вытяжек из торфов, в том числе в 2021 г. – 10 проб болотной воды (из деятельного горизонта торфяной залежи) и 218 проб водных вытяжек из торфов.; 3) 17 проб родниковых вод в г. Томске; 4) опубликованные материалы других авторов, ссылки на которые приведены в тексте при обсуждении ряда специальных вопросов, включая до 46 проб грунтовых и речных вод в Северном Вьетнаме. Основные выводы получены преимущественно в процессе и при анализе материалов исследований, выполненных в 2018–2022 гг. по проектам РФФИ БРИКС\_Т № 18-55-80015 и РНФ № 23-27-00039 (научный руководитель Савичев О.Г.).

**Научная новизна.** Разработана и апробирована методика оценки гидрогеохимического фона и допустимого воздействия на грунтовые воды в водосборе озера Поян (КНР). Впервые количественно оценено допустимое антропогенное воздействие на грунтовые воды в водосборе озера Поян (КНР) и выявлено влияние водного режима, геохимической обстановки и изменений размеров областей питания и разгрузки на условия самоочищения грунтовых и речных вод, в том числе впервые показано, что изменение качества грунтовых вод может быть связано с «подтягиванием» наверх загрязненной ранее водной массы при увеличении дождевых осадков и «опусканием» её вниз при преобладании испарения.

### **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Условия самоочищения грунтовых и речных вод в целом улучшаются при одновременном увеличении водного стока и температуры воды и выравнивании их внутригодового распределения, что способствует росту интенсивности биогеохимических процессов, осаждению малорастворимых соединений, соосаждению ряда химических элементов (W, Hg, Mo, V, Ni, Sb, Cd и др.) и выносу загрязняющих веществ; соответственно, условия самоочищения обычно наилучшие в регионах с теплым и влажным климатом, наихудшие – в аридных регионах как с холодным, так и с теплым климатом.

2. Снижение качества грунтовых вод на селитебных территориях может быть связано как с прямым их загрязнением, так и изменением режима и стока грунтовых вод вследствие сезонных и многолетних изменений инфильтрации, потерь из водоводов, барражного эффекта при строительстве и изменения границ поверхностных и подземных водосборов.

3. Фоновый уровень содержания веществ в грунтовых водах (геохимический фон) в значительной мере определяется интенсивностью водообмена, сорбционной способностью водовмещающих грунтов, их химическим и гранулометрическим составом, а допустимое воздействие на грунтовые воды прямо пропорционально геохимическому фону, глубине исследуемого горизонта и отношению удельной скорости изменения концентрации рассматриваемого вещества к коэффициенту гидродисперсии.

**Достоверность результатов работы.** Достоверность результатов исследования определяется: 1) применением современных высокоточных методов химического анализа и выполнением определений в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета; 2) использованием статистического и экспертного анализа данных наблюдений с учётом нормативных требований, принятых в Китайской народной республике и Российской Федерации; 3) апробацией результатов исследования в процессе публикаций в рецензируемых научных журналах («Известия Томского политехнического университета», «Водные ресурсы», «IOP Conference Series: Earth and Environmental Science») и докладов на научных конференциях.

**Практическая значимость работы.** Результаты исследования являются научной основой для: 1) нормирования антропогенных воздействий на водные объекты; 2) оптимизации программы государственного мониторинга водных объектов и геологической среды в бассейне озера Поян; 3) проведения учебных занятий по гидрогеологии, геоэкологии, гидрохимии и геохимии в университетах Китайской народной республики и Российской Федерации. Результаты исследования использованы при проведении научных исследований в Томском политехническом университете, 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 РФФ № 23-27-00039 (лабораторные работы в 2022 г.).

**Апробация работы.** Основные положения диссертации:

1) опубликованы в 5 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК:

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

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.

Пасечник Е.Ю., Льготин В.А., Савичев О.Г., Чилингер Л.Н., Хвашевская А.А., Чжоу Д. Химический состав родников как индикатор природно-техногенной эволюции городской экосистемы (на примере города Томска, юго-восток Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 7. – С. 195-206. DOI: 10.18799/24131830/2022/7/3534.

Soldatova E.A., Savichev O.G., Zhou D., Ivanova I. S., Li J., Dong Y., and Sun Z. Ecological–Geochemical Conditions of Surface Water and Groundwater and Estimation of the Anthropogenic Effect in the Basin of the Ganjiang River // Water Resources. – 2022. – Vol. 49, No. 3, pp. 483–492. DOI: 10.1134/S0097807822030149.

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.

2) в иных журналах и сборниках:

Zhou, D., Savichev, O.G. Evaluation method of allowable concentration of pollutants considering the state of bottom sediments // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2021, 958, 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/958/1/012017>, 2022, 958(1), 012017.

3) докладывались и обсуждались на конференциях в Томском политехническом университете (апрель 2022 г., апрель 2023 г.), на конференциях в Восточно-китайском технологическом университете (октябрь 2022 г.), VIII Международной конференции по водным ресурсам и окружающей среде (ноябрь 2021 г.) и ряде других научных мероприятий.

**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 артезианских вод на прилегающих к нему территориях, в октябре 2022 г. (совместно с Ян Хэн) – 3 пробы грунтовых 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 эколого-геохимического состояния водных объектов в исследуемой части подтаежной зоны Западной Сибири в пределах Томской области (Обское болото в Шегарском районе Томской области и родники г. Томска) и проанализированы природно-антропогенные условия его формирования.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация объёмом 130 страниц машинописного текста состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 292 наименования, содержит 45 рисунка и 19 таблиц.

В *первой главе* охарактеризована изученность проблемы оценки самоочищения грунтовых вод и нормирования антропогенного воздействия на них в целом и в водосборе озера Поян, в частности, а также приведена используемая в работе терминология. В *второй главе* содержатся сведения об объектах и методике исследования. В *третьей главе* рассмотрены условия формирования химического состава грунтовых и поверхностных вод в водосборе озера Поян. В *четвертой главе* приведены результаты оценки эколого-геохимического состояния грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян, включая оценку фоновых концентраций в грунтовых водах, и изучения условий их самоочищения. *Пятая глава* посвящена анализу взаимосвязей между условиями самоочищения грунтовых вод и их водным режимом. В *шестой главе* (на основе материалов четвертой и пятой глав) приведено обоснование подхода к оценке допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах рисовых полей, поверхностном стоке, мелиоративных системах, сточных водах, поступающих на рельеф, и собственно допустимые концентрации, при которых (или меньше их) эколого-геохимическое состояние грунтовых вод существенно не изменится.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю, д.г.н., профессору Олегу Геннадьевичу Савичеву за безграничную поддержку и научное вдохновение, бесценный опыт и неиссякаемую энергию при руководстве диссертационной работой и благодарность Ян Хэну за помощь в учебе и жизни. Автор искренне благодарен за очень ценные замечания по содержанию работы и её апробации д.г.-м.н., профессору Е.Г. Языкову, д.б.н., профессору Н.В. Барановской, руководителю отделения геологии д.г.-м.н. Н.В. Гусевой, д.г.-м.н., профессору Е.М. Дутовой, д.г.-м.н., доценту О.Е.

Лепокуровой и всему коллективу отделению геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета, своим друзьям. Автор благодарит А.А. Хващевскую из аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета, Хуан Инь, Цзинь Кэшэнг и Ву Юэкан из лаборатории механики грунтов Куньминского научно-технического университета за их экспериментальную помощь и коллегам из Восточно-Китайского технологического университета профессору Сунь Чжаньсюэ, Дон Ихуи, Ли Цзяле и др. за ценные комментарии к диссертации.

# **1. Изученность проблемы оценки самоочищения подземных вод и нормирования антропогенного воздействия на них**

## **1.1. Терминология и общая постановка проблемы изучения эколого-геохимического состояния водных объектов в зоне гипергенеза**

Объектами исследования являются подземные воды зоны гипергенеза, прежде всего – грунтовые 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.

В составе подземных вод выделяют: 1) по условиям залегания – верховодку, грунтовые, артезианские [Общая гидрогеология, 2012 ]; 2) по характеру залегания вод – открытые; с наличием «гидрологических окон», изолированные; 3) по условиям циркуляции – трещинно-карстовые, трещинные, поровые [ГОСТ Р 59054–2020].

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 геоэкологии (геолого-минералогические науки) – междисциплинарного научного направления, объединяющего исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов), в том числе областям геоэкологических исследований (в соответствии с паспортом научной специальности 1.6.21 «Геоэкология»):

1) изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов (п. 1);

2) изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек Земли под влиянием природных и техногенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды; изучение роли геосферных оболочек в глобальных циклах переноса углерода, азота, воды и др. (п. 2);

3) глобальные и региональные экологические кризисы – комплексные изменения окружающей среды и ее компонентов, приводящие к резкому ухудшению условий жизни и хозяйственной деятельности (п. 4);

4) природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны (п. 5);

5) разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли (п. 6);

6) разработка теории, методологии и методов комплексных инженерных изысканий для геоэкологической характеристики природно-техногенной среды (п. 8);

7) оценка состояния водного режима территорий и геоэкологические последствия его изменения в связи с изменениями климатических параметров; геоэкологический анализ влияния

регулирования речного стока на водные, прибрежно-водные и наземные экосистемы и обоснование путей сохранения и восстановления водных и наземных экосистем (п. 12);

8) научное обоснование государственного нормирования и стандартов в области геоэкологических аспектов природопользования; разработка научных основ государственной геоэкологической экспертизы и контроля (п. 15);

9) моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов (п.16);

10) теория и методы геоэкологической оценки существующих и создаваемых технологий добычи и переработки полезных ископаемых природного и техногенного происхождения, инженерная защита экосистем, прогнозирование, предупреждение и ликвидация загрязнений природной среды (п. 24).

## **1.2. Изученность эколого-геохимического состояния грунтовых вод в водосборе озера Поян (КНР, провинция Цзянси) и иных объектов**

Озеро Поян – одно из самых больших пресноводных озёр КНР. Оно расположено в провинции Цзянси (КНР), в бассейне реки Янцзы, с которой соединено протокой, в результате чего, с одной стороны, оказывает регулирующее влияние на реку, а с другой стороны – испытывает на себе влияние природно-антропогенных изменений в её бассейне. В пределах водосбора озера Поян проживает 45,2 млн человек, функционирует большое количество промышленных и сельскохозяйственных предприятий. При этом поверхностные и подземные водные объекты одновременно являются и источником производственного и хозяйственно-питьевого водоснабжения, и приёмником сточных вод, а ветланды приозёрных территорий используются для выращивания риса [China: Jiangxi..., 2021; Yan, Xing, Tan, Deng, Tan, 2011]. Всё это обуславливает актуальность исследований водных ресурсов региона и их качества, чему в последние годы посвящено достаточно много работ.

В частности, достаточно подробно изучены водный баланс озера Поян, многолетние изменения его водного режима и элементов водного баланса, условия взаимодействия озерных и грунтовых вод [Shankman, Keim, Song, 2006; Shankman, Davis, De Leew, 2009, Li et al., 2015; Li et al., 2017; Liao et al., 2018; Li, Zhang, Liu, Yao, 2020; Song et al., 2023], эколого-геохимическое состояние грунтовых, озёрных и речных вод, донных отложений озера Поян и грунтов приозёрных ветландов, аспекты водной миграции загрязняющих веществ и оценка риска использования грунтовых и поверхностных вод в хозяйственно-питьевых целях [Yang, Wang, 2011; Soldatova, Guseva, Wang, 2014; Sun et al., 2014; Soldatova et al., 2015; Soldatova et al., 2016; Shvartsev et al., 2016; Солдатова, 2016; Zhang et al., 2017; Liu et al., 2017; Wang et al., 2017; Гусева, 2018; Soldatova et al., 2018; Dong et al., 2019; Soldatova et al., 2019; Yang, 2019; Zhang et al., 2019;

Sun et al., 2020; Xua et al., 2020; Солдатова и др., 2020; Солдатова, Иванова, Дон, Ли, 2020; Soldatova et al., 2020; Li, Zhang, Liu, Yao, 2020; Солдатова, Торопов, 2021; Soldatova et al., 2022].

Тем не менее, ряд вопросов требует более детального изучения, в том числе вопросы оценки антропогенного влияния на подземные воды (включая грунтовые) и выявления условий их самоочищения. Это и определило соответствующую цель рассматриваемой работы, являющейся дальнейшим развитием российско-китайских гидрогеохимических исследований в водосборе озера Поян, выполняемых с 2013 г. при участии сотрудников и аспирантов Томского политехнического университета [Shvartsev et al., 2016; Солдатова, 2016; Soldatova et al., 2021; Soldatova et al., 2022 и др.].

При решении поставленных задач дополнительно были рассмотрены:

1) водные объекты в бассейне реки Красной (*кит.*: Юаньцзян / *вьет.*: Хонг) в пределах северной части Вьетнама (реки Бан Тхи, Та Диенг, Дай) в части использования сопряженных данных о химическом составе речных вод и донных отложений для разработки и апробации моделей самоочищения грунтовых и речных вод; при этом были использованы опубликованные результаты исследований Нгуен Ван Луена и О.Г. Савичева [Савичев, Нгуен, 2015a,b; Нгуен, 2017; Nguyen, Savichev, 2018], нацеленных на определение фоновых и аномальных геохимических показателей поверхностных и подземных вод в районе добычи свинцово-цинковых руд, оценку антропогенного влияния и выявление природно-антропогенных закономерностей изменения химического состава вод;

2) родники на территории г. Томска как: 2.1) индикаторы природно-антропогенных процессов и объекты, достаточно удобные для оценки эколого-геохимического состояния подземных вод; 2.2) водные объекты в других природных условиях с более высокой изученностью (по сравнению с основным объектом исследования), что целесообразно для понимания применимости (ограничений) полученных выводов; в рассматриваемой работе использованы материалы, полученные в ТПУ в 2020-2021 гг. Пасечник Е.Ю. с соавторами [Пасечник и др., 2022] как продолжение государственного мониторинга (СРЦ ФГБУ «Гидроспецгеология», АО «Томскгеомониторинг», Томская геолого-разведочная экспедиция: В.А. Лыготин, Ю.В. Макушин, Г.Л. Плевако, В.П. Шинкаренко, А.А. Балобаненко и другие) и научных исследований, в разные годы выполненных Э.А. Леманом, А.Д. Назаровым, Ю.Г. Копыловой, Н.Г. Наливайко, К.И. Кузевановым, Н.А. Ермашовой, Д.С. Покровским, Е.Ю. Пасечник, А.А. Хвощевской, Е.М. Дутовой, Н.М. Шварцевой, Е.Г. Вертманом, О.Е. Лепокуровой и многими другими [Пасечник и др., 2022];

3) болотные и подземные воды в Шегарском административном районе Томской области при проведении эксперимента по распространению загрязняющих веществ в пористой среде; при этом в качестве объекта по ряду соображений (в том числе, как объект, пригодный и удобный

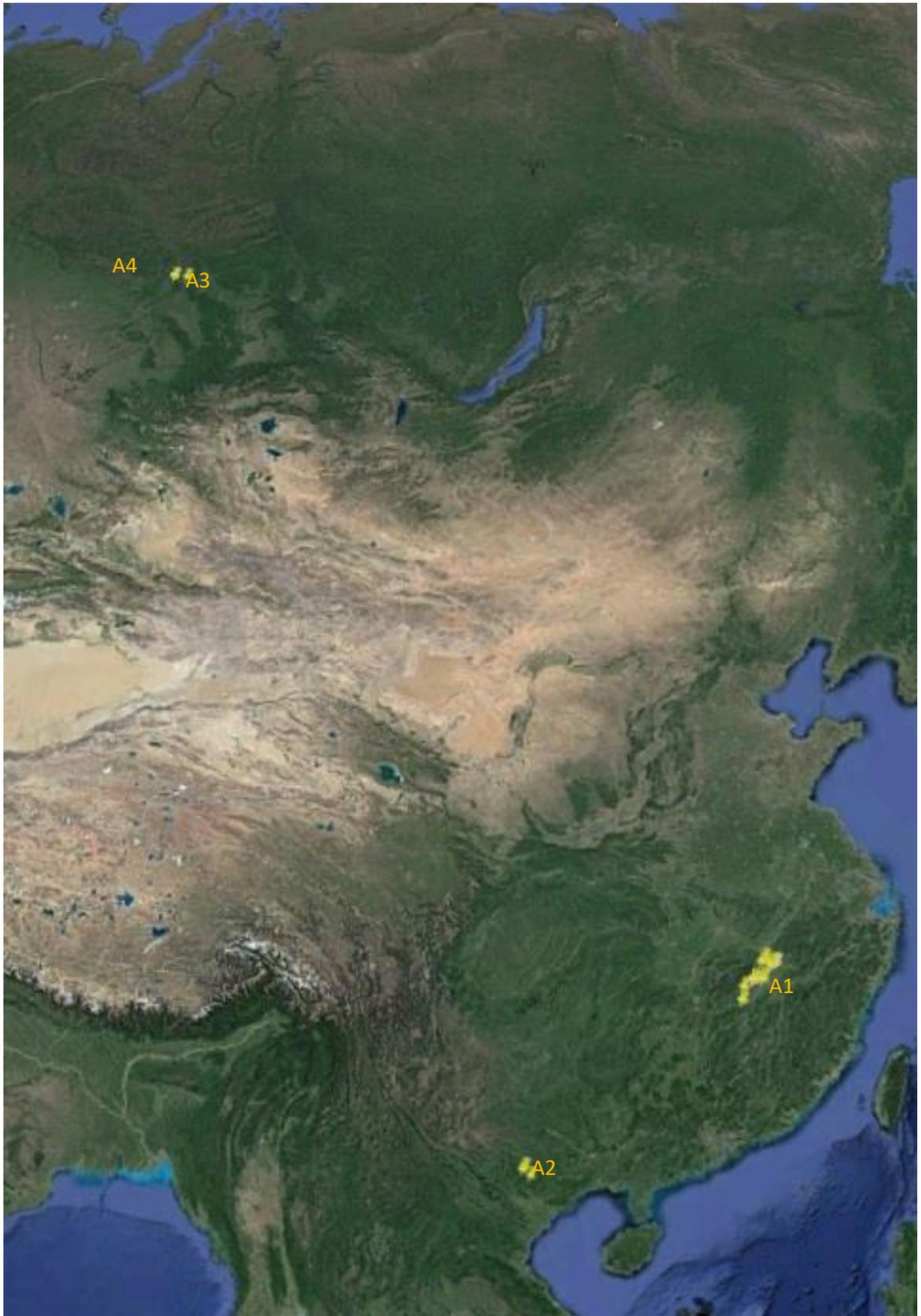
для изучения геомиграционных процессов в подземных водоносных горизонтах) был выбран участок Обского низинного болота, геохимическое состояние и водный баланс которого достаточно подробно рассмотрены в работах [Shipper et al., 2007; Савичев и др., 2013; Savichev et al., 2020; Иванова и др., 2020; Савичев, Ян, 2021; Савичев и др., 2022; Савичев, Ян, Чжоу, 2022].

## 2. Объекты и методика исследования

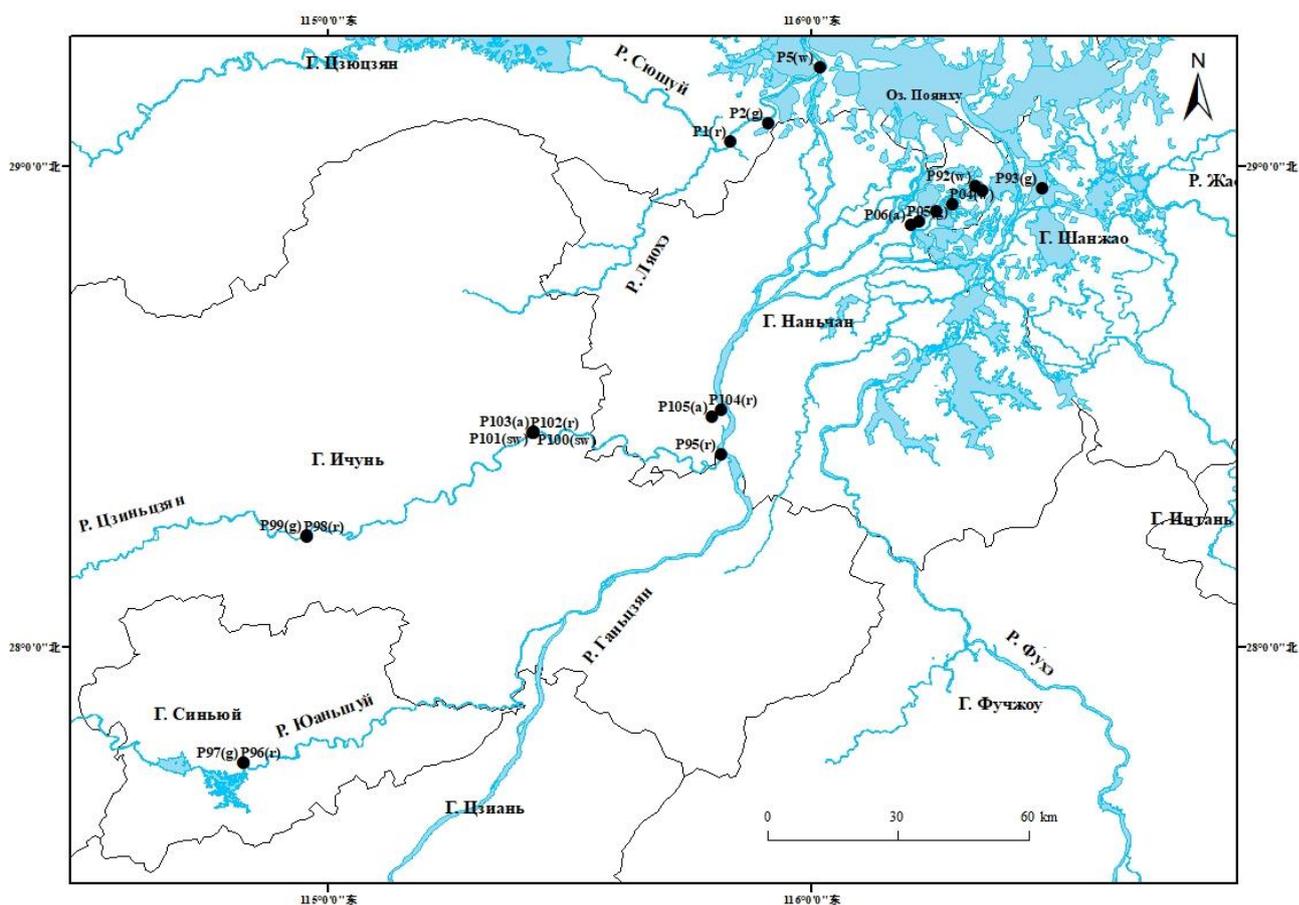
Основные задачи рассматриваемого исследования: 1) оценка эколого-геохимического состояния грунтовых и поверхностных вод в различных природных условиях, характерных для Восточной и Северной Азии, и его сравнительный анализ; 2) выявление взаимосвязей между геохимическими показателями грунтовых и поверхностных вод и условиями их самоочищения в различных природных условиях, характерных для Восточной и Северной Азии; 3) разработка методики и непосредственно оценка допустимого антропогенного влияния на эколого-геохимическое состояние грунтовых вод в водосборе озера Поян (КНР). Структура исследования определяется указанными выше задачами и следующими обстоятельствами.

Во-первых, в качестве основных объектов исследования выбраны грунтовые воды в водосборе озера Поян (Китайская народная республика, провинция Цзянси; зона переменновлажных лесов субтропического пояса; рис. 2.1, A1) с учётом того, что на этой территории проживает 45,2 млн человек, функционирует большое количество промышленных и сельскохозяйственных предприятий [China: Jiangxi..., 2021], одновременно использующих подземные воды и оказывающих на них негативное влияние, а методика оценки такого влияния разработана до сих пор в недостаточной мере.

Во-вторых, наиболее проработана методология изучения условий самоочищения и нормирования воздействий на речные воды [Benedini, Tsakiris, 2013; Методика..., 2020]. По этой причине в работе несколько шире, чем это обычно принято в гидрогеологических исследованиях, рассмотрены эколого-геохимическое состояние речных вод, условия их самоочищения и взаимодействий с донными отложениями, проведен сравнительный анализ геохимических показателей грунтовых и поверхностных вод. При этом объектами исследования стали, прежде всего, реки в водосборе озера Поян, а именно – река Цзиньцзян (Jinjiang) – элемент системы «р. Цзиньцзян – р. Ганьцзян (крупнейший приток озера Поян – озеро Поян – р. Янцзы)», в которой в 2019 и 2022 г. были отобраны пробы воды, донных отложений, а также хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды, поступающие в р. Цзиньцзян в г. Гаоань. С целью отработки методики оценки воздействия в других природных условиях также были использованы данные о химическом составе вод и донных отложений рек в бассейне р. Красной (Вьетнам, провинция Баккан, уезд Чодонь; зона переменновлажных лесов субэкваториального пояса, рис. 2.1, A2), полученные ранее Нгуен Ван Луеном совместно с Савичевым О.Г. [Савичев, Нгуен, 2015a,b; Нгуен, 2017; Nguyen, Savichev, 2018].



a)



b)

Рисунок 2.1 – Схема размещения пунктов наблюдений на подземных и поверхностных водных объектах, информация о которых: *a*) использована в исследовании; *b*) получена непосредственно в водосборе озера Поян в 2019 и 2022 гг. условные обозначения: А1 – водосбор озера Поян; А2 – участок бассейна реки Красной; А3 – г. Томск; А4 – Обское болото; р... – номер пункта отбора проб (индексы: g – грунтовые воды; r – реки; w – ветланды; а – рисовые поля; sw – сточные воды)

В-третьих, с учётом представлений о соподчинённости факторов формирования состава подземных вод (рис. 2.2), развиваемых в Сибирской гидрогеохимической школе [Шварцев, 1998, 2012; Schvartsev, 2008; Дутова, 2005; Копылова, Гусева, 2014; Лепокурова, 2018; Гусева, 2018], выполнена оценка влияния не только непосредственного загрязнения, но и косвенных факторов, определяющих время и условия взаимодействия в системе «вода – порода», сперва – на примере более изученных родников на территории г. Томска (рис. 2.1, А3), на юго-востоке Западной Сибири, на границе зон тайги и лесостепи умеренного пояса, а затем – и на примере грунтовых вод в водосборе озера Поян.

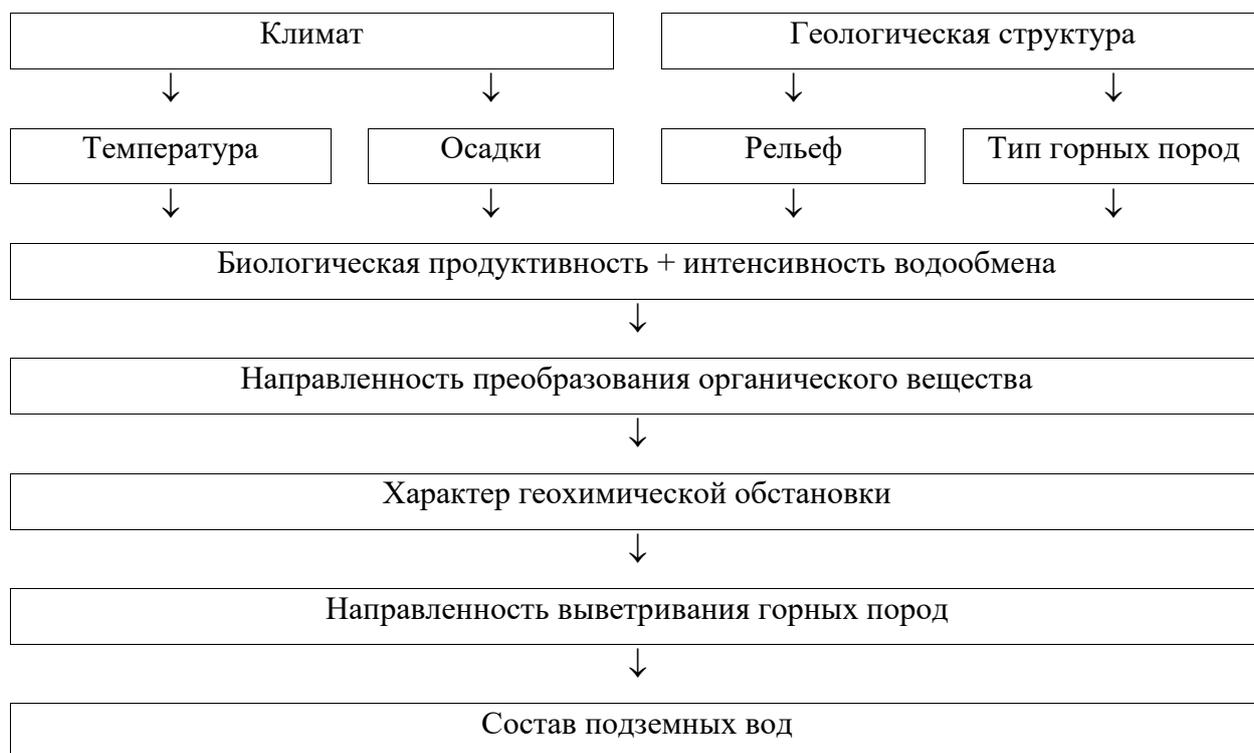


Рис. 2.2 – Сопочинённость основных факторов формирования подземных вод зоны гипергенеза [Шварцев. 1998, 2012]

В-четвёртых, для изучения взаимосвязей между водным режимом и условиями самоочищения вод в ТПУ в 2021 г. был проведён эксперимент на Обском болоте (Томская область, РФ; граница зон лесостепи и тайги умеренного пояса, рис. 2.1, А4) с учетом допущения близости механизмов распространения загрязняющих веществ в минеральных и торфяных грунтах и меньшей трудоемкости исследований в последнем случае.

Соответственно указанным выше обстоятельствам было использовано три блока информации. Первый из них связан с изучением химического состава грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян и включал в себя, в свою очередь, две части, первая из которых – массив данных о химическом составе грунтовых вод, полученных коллективом российских и китайских специалистов при непосредственном участии С.Л. Шварцева, Е.А. Солдатовой, Н.В. Гусевой и ряда других исследователей в 2013–2018 гг. [Soldatova, Guseva, Wang, 2014; Sun et al., 2014; Soldatova et al., 2015; Soldatova et al., 2016; Shvartsev et al., 2016; Солдатова, 2016; Soldatova et al., 2018; Dong et al., 2019; Soldatova et al., 2019; Солдатова и др., 2020; Солдатова, Иванова, Дон, Ли, 2020; Soldatova et al., 2020; Солдатова, Торопов, 2021; Soldatova et al., 2022].

Вторая часть первого блока, содержащая информацию о составе сточных вод, вод приемника стоков – р. Цзиньцзян, а также вод рек Ганьцзян и Юаньшуй и грунтовых вод с более широким охватом изучаемых химических элементов, получена в ноябре 2019 г. и октябре 2022 г.

Отбор проб в ноябре 2019 г. (табл. 2.1, рис. 2.3) проводился учеными Восточно-Китайского технологического университета (г. Наньчан) совместно с коллегами из Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (г. Москва), Томского филиала Института геологии и геофизики нефти и газ СО РАН и Национального технологического института г. Дургапур (Индия) с учетом требований [Требования..., 2002; Guide..., 2008; Weight, 2008; Manual..., 2010]: поверхностные воды и грунтовые воды в колодце – из верхнего слоя 0,3–0,5 м от поверхности; грунтовые воды в скважине – с помощью ручного насоса. Одновременно с отбором проб определены удельная электропроводность ( $EC$ ), температура ( $T_w$ ), pH и Eh воды, содержания растворенного кислорода [Soldatova et al., 2022]. В октябре 2022 г. Ян Хэн и Чжоу Дань выполнили отбор четырёх проб речных вод, трёх проб грунтовых, двух проб, трёх проб воды из неиспользуемых ветландов и одной пробы воды на рисовом поле, причем все пробы речных и сточных вод, а также одна проба грунтовых вод была отобрана в тех же пунктах, что и в 2019 г. (рис. 2.3). Кроме того, в пунктах отбора речных вод и вод ветландов отобраны донные отложения.

Второй блок информации включал сведения о химическом составе родниковых вод в г. Томске, пробы которых были отобраны и изучены в 2021–2022 гг. (рис. 2.4). Методика отбора проб аналогична изложенной выше применительно к водосбору озера Поян. Площади областей питания сперва родников в г. Томске, а затем и грунтовых вод в водосборе озера Поян определены согласно [Р 52.08.874-2018] с учётом имеющейся геологической и гидрогеологической информации: в случае г. Томска – [Назаров, 2002; Кузеванов, 1999; Мананков, Парначев, 1999; Pokrovsky, Dutova, Kuzevanov, Pokrovsky, Nalivaiko, 2015; Пасечник, 2010; Гидрогеология СССР. Т. 16..., 1970; Рогов, Попов, Осипова, 2003]; в случае водосбора озера Поян – [Shvartsev et al., 2016; Li et al., 2017; Liao et al., 2018; Song et al., 2023].

Таблица 2.1 – Объекты исследования в меженный период 2019 г. [Soldatova et al., 2022] и 2022 г. (отбор проб выполнен совместно с Ян Хэн)

№	Объект	Пункт	Дата отбора
P104	р. Ганьцзян (Ganjiang)	10 км выше г. Наньчан	04.11.2019
			19.10.2022
P95	р. Цзиньцзян (Jinjiang)	0,5 км от устья, 23 км от г. Наньчан	31.10.2019
			19.10.2022
P102	р. Цзиньцзян (Jinjiang)	Ниже по течению от г. Гаоань, 86 км от г. Наньчан	01.11.2019
			19.10.2022
P100	Выпуск № 1 стоков в р. Цзиньцзян (Jinjiang)	0,09 км выше P102; 86,09 км от г. Наньчан	01.11.2019
			19.10.2022

P101	Выпуск № 2 стоков в р. Цзиньцзян (Jinjiang)	0,18 км выше P102; 86,18 км от г. Наньчан	01.11.2019
			19.10.2022
P98	р. Цзиньцзян (Jinjiang)	159 км от г. Наньчан	01.11.2019
			19.10.2022
P99	Грунтовые воды, колодец	Левый берег, 0,15 км от пункта P98	01.11.2019
			19.10.2022
P96	р. Юаньшуй (Yuanshui)	116 км от устья (устье в 87 км от г. Наньчан)	01.11.2019
P97	Грунтовые воды, скважина	Левый берег, 0,04 км от пункта P96	01.11.2019
P01	Грунтовые воды, скважина	Рядом с поселением Чуанкуйцзя, ветланд в районе Наньцзишань	20.10.2022
p02	Грунтовые воды, выемка в рельефе	0,48 км от точки P01, водоносный горизонт пересохшей поверхности донных отложений озера	20.10.2022
P03	Воды ветланда	Вблизи поселения Нанжишань	20.10.2022
P04	Воды ветланда	Пересохший участок озера Чанху у поселения Нанжишань	20.10.2022
P05	Грунтовые воды, колодец	–	20.10.2022
P06	Рисовое поле	Вблизи поселения Гуаньшань Юй, 2 км от точки P05	20.10.2022

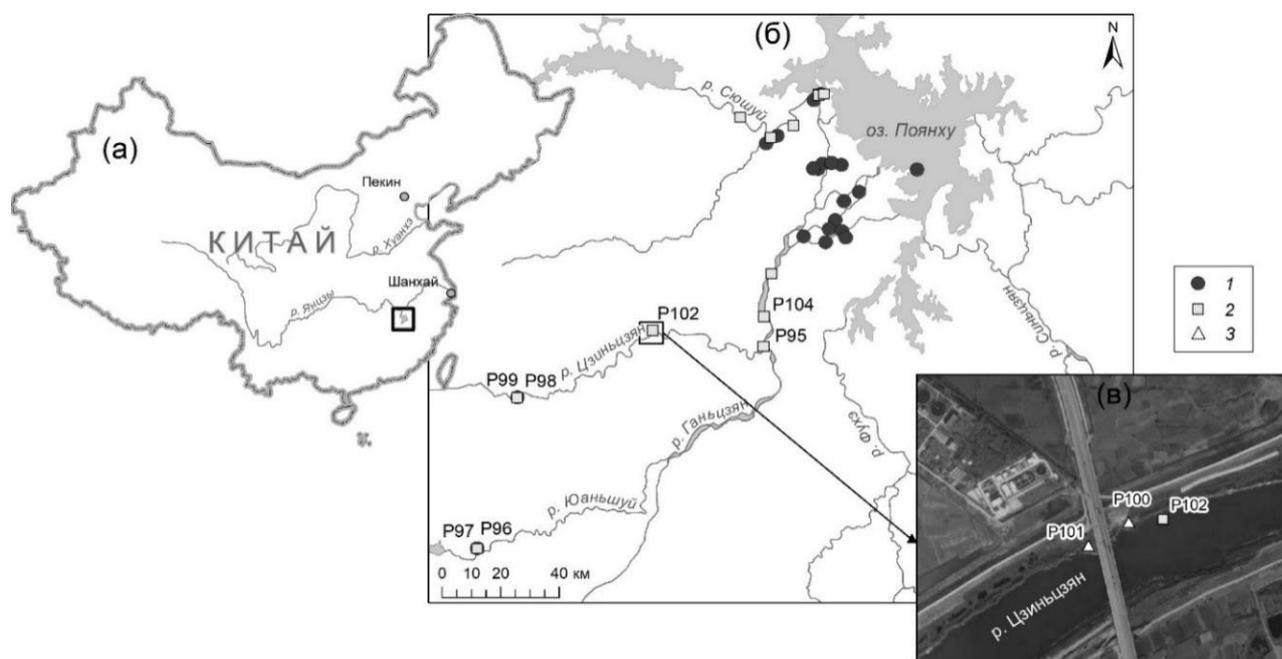


Рисунок 2.3 – Карта-схема опробования. (а) Схема расположения района исследований на карте Китая. (б) Расположение точек опробования грунтовых (1) и поверхностных (2) вод, включенных в расчет фоновых концентраций. (в) Расположение выпусков сточных вод (3) близ р. Цзиньцзян; пронумерованы точки, опробованные в меженный период 2019 г. [Soldatova et al., 2022]; точки P01–P06 в 2022 г. и ранее показаны без номеров вблизи озера Поян (табл. 1)

Третий блок связан с анализом условий распространения индикаторного раствора ( $\text{NaCl}$ ) в торфяной залежи как аналога геосреды при изучении распространения поллютантов в грунтовых водах. Особенности торфяных болот как специфических водных объектов и неоднозначности в их изучении и использовании подробно рассмотрены в [Савичев, 2021]. Здесь лишь отметим, что был проведён эксперимент по выпуску индикаторного раствора  $\text{NaCl}$  в торфяную залежь Обского низинного болота на участке без явного антропогенного воздействия у с Нашёково, Шегарский административный район, Томская область, Российская Федерация (с учётом присутствия хлоридов и натрия в сточных водах, характерных для Западной Сибири и минимальной способности грунтов удерживать хлориды, что обеспечивает оценку зоны максимального загрязнения). Само Обское болото расположено на юго-востоке Западной Сибири, в левобережной части долины реки Обь (преимущественно – на первой надпойменной террасе) в виде полосы длиной около 104 км и шириной 1,5–7,0 км, характеризуется средней глубиной торфяной залежи около 3,2 м, максимальной – 6 м и распространением низинных торфов со степенью разложения 34 % и зольностью 28–29 %.

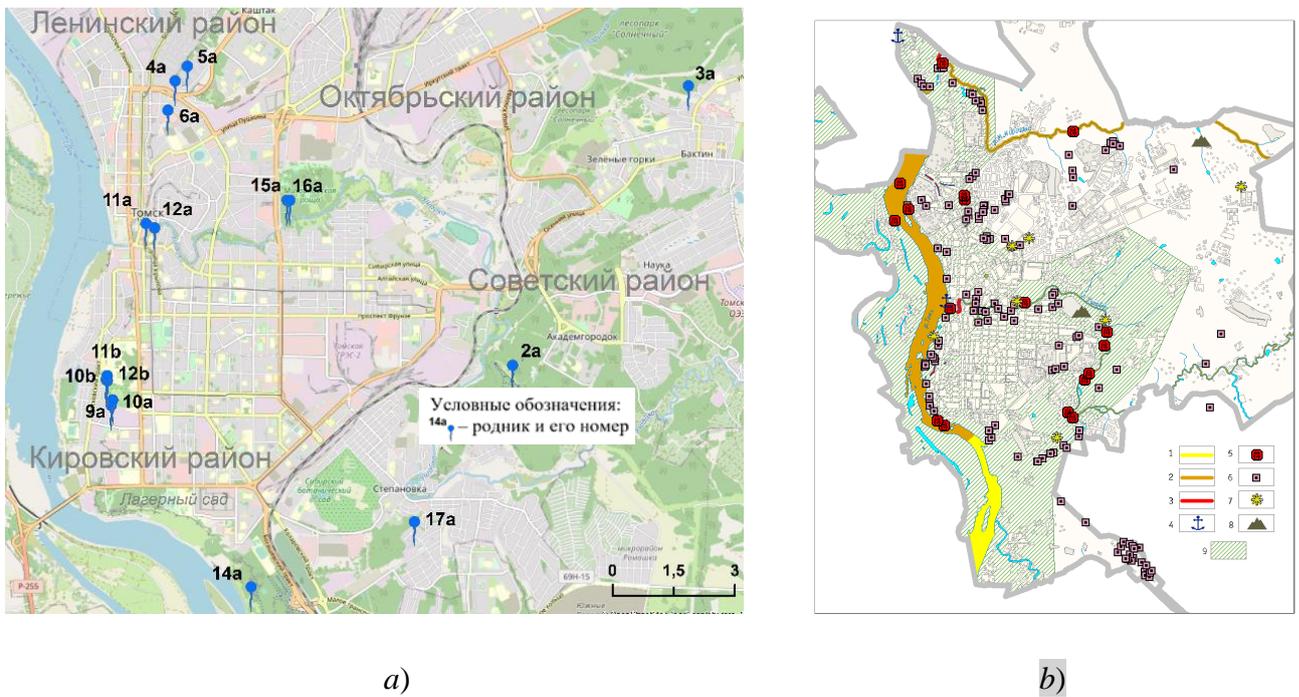


Рисунок 2.4 – Схема размещения пунктов отбора проб родников г.Томска в 2021–2022 гг. (а) [Пасечник и др., 2022] и источников загрязнения в черте г. Томск (b; по материалам [Мананков, Парначев, 1999; Состояние геологической... 2001, 2015, 2018; Савичев, 2010]); условные обозначения (b): классификация вод по индексу загрязненности (ИЗВ): 1 – умеренно загрязненные; 2 – загрязненные; 3 – очень грязные. Источники загрязнения вод: 4 – пристани; 5 – выпуски сточных вод; 6 – свалки; 7 – снегоотвалы; 8 – золоотвалы. 9 – водоохранная зона р. Томи (в соответствии с постановлением Губернатора № 240 от 29.06.98 г.); в настоящее время – 200 м от границы береговой линии

18 марта 2021 г. на фоновом участке Обского болота у с. Нашеково было пробурено пять скважин (рис. 2.5), 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. 2.5). После отбора проб воды и торфов 19 марта 2021 г. в 0,5 м от этой скважины (Н3) на поверхность болота было вылито 50 л раствора NaCl (20 г/дм<sup>3</sup>). 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 марте и октябре 2021 г. на окраине с. Нашеково 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. Отбор проб торфов, болотных и подземных вод выполнен с учетом требований [ГОСТ 17644-83; Требования..., 2002; Weight, 2008; Manual..., 2010].



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



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

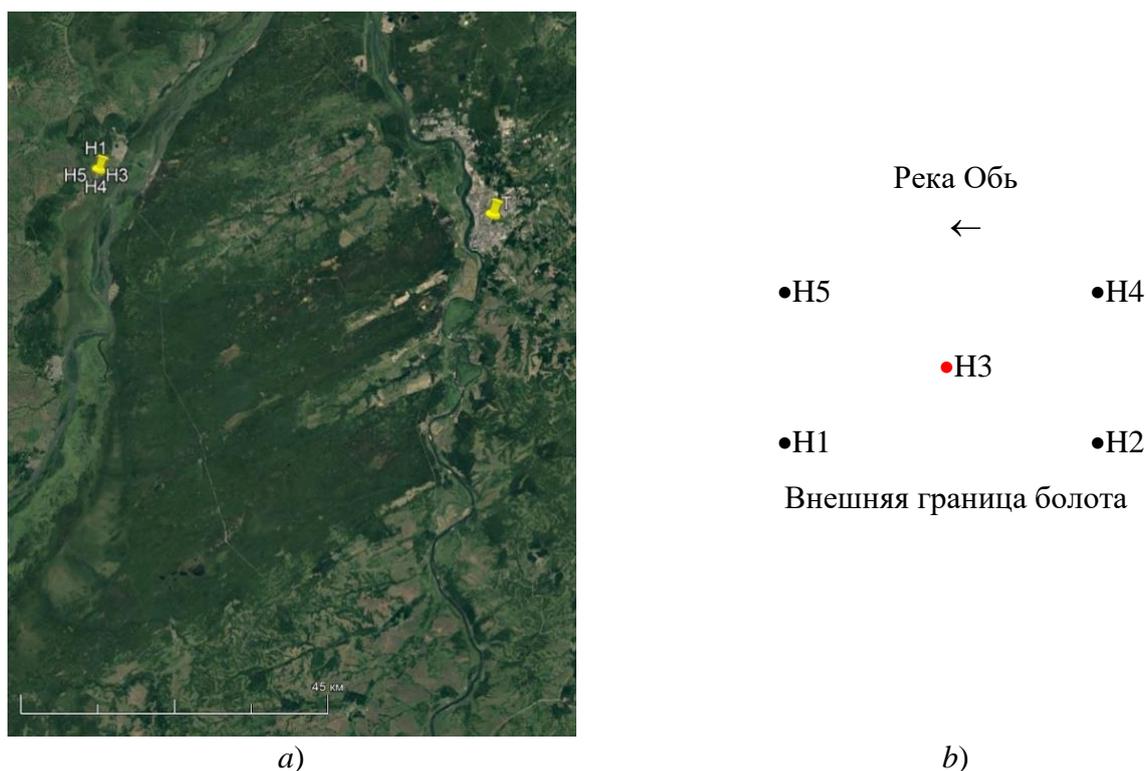


Рисунок 2.5 – Схема расположения участков наблюдений (а) на юге Томской области (Т – родники на территории г. Томска) и скважин на Обском болоте (b) у с. Нашеково в левобережной части долины р. Обь при проведении эксперимента; «←» – направление течения в р. Обь и снижения высотных отметок Обского болота [Савичев и др., 2022] (основа – снимок Google Earth)

Лабораторные работы во всех случаях выполнены в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета (ТПУ) с использованием потенциометрического (рН), титриметрического ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ , перманганатная окисляемость (ПО)), турбидиметрического ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), фотометрического ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) методов, ионной хроматографии ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) с использованием ионных хроматографов ICS 1000 и ICS 2000 (“Dionex”, США), масс-спектрометрического метода с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS с использованием масс-спектрометра “NexION 300D”, “PerkinElmer”, США (прочие элементы, включая Si, Li, Al, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Au, Hg, Pb, Bi). Также было определено общее содержание углерода органических веществ ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ) с использованием высокотемпературного каталитического окисления (анализатор TOC/TNb “Vario TOC cube”, “Elementar”, Германия) [Soldatova et al., 2022].

Анализ результатов полевых и лабораторных работ включал в себя следующее.

1. Оценка фоновых концентраций (в данном случае понимаемых как характеристика математического ожидания в сложившихся природно-антропогенных условиях) веществ  $\text{C}_b$  в

речных водах как верхний предел определения средних геометрических значений  $C_g$  [Инструкция..., 1983; Требования..., 2002]:

$$C_b = C_g \exp\left(\frac{3\sigma_{\ln C}}{\sqrt{N}}\right), \quad (2.1)$$

$\sigma_{\ln C}$  – среднее квадратическое отклонение логарифмов концентраций;  $N$  – объем выборки.

2. Сравнение химического состава поверхностных, подземных вод с фоновыми значениями с использованием показателя  $Z_C$  (2.2) и нормативами качества вод для хозяйственно-питьевых нужд  $C_{\text{lim}}$  (для сопоставления использованы российские [СанПиН 1.2.3685-21] и китайские [GB 5749-2006] нормативы) по соотношению (2.3):

$$Z_C = \sum \frac{C}{C_b} - (N_Z - 1), \quad (2.2)$$

$$Z_L = \sum_{1-2} \frac{C}{C_{\text{lim}}} \leq 1, \quad (2.3)$$

где  $N_Z$  – количество веществ, которые превышают фоновые значения  $C_b$  в >2 раза [Требования..., 2002]; согласно [СанПиН 2.1.5.980-00], качество вод признается неудовлетворительным при невыполнении условия (2.3) для веществ 1–2 классов опасности.

3. Расчет индексов насыщения  $SI$  речных, подземных и сточных вод относительно ряда минералов и органоминеральных комплексов:

$$SI = \lg PA - \lg K_{\text{неq}}, \quad (2.4)$$

$PA$  – произведение активностей группы веществ;  $K_{\text{неq}}$  – константа неустойчивости; методика термодинамических расчетов изложена в [Савичев, Колоколова, Жуковская, 2003].

4. Корреляционный и регрессионный анализ; коэффициент корреляции  $r_{xy}$  величин  $x$  и  $y$  (2.5) и коэффициенты регрессии по модулю принимались статистически значимым (с уровнем значимости 5%) при условии превышения по модулю удвоенной погрешности их определения; для регрессионной зависимости дополнительное условие – квадрат корреляционного отношения  $R^2 > 0,36$ :

$$|r_{xy}| \geq 2 \frac{1-r_{xy}^2}{\sqrt{N-2}}, \quad (2.5)$$

Кроме этого, проведена оценка антропогенного влияния на состояние р. Цзиньцзян и грунтовых вод в водосборе р. Ганьцзян с учетом рекомендаций [8, 11, 16]. Расчет распространения веществ в р. Цзиньцзян в результате смешения и трансформации хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод выполнен путем численного решения уравнения диффузии при следующих допущениях: 1) возможно использование двумерного приближения; 2) преобладает адвективный перенос веществ вдоль потока (координата  $x$ ); 3) преобладает диффузионный перенос по ширине потока (координата  $y$ ); 4) изменение концентрации  $C$  вещества в водной среде пропорционально ее отклонению от некоторого ее равновесного значения  $C_{es}$ , т. е.:

$$\vartheta \frac{\partial C}{\partial x} \sim D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + k_{cs}(C_{es} - C), \quad (2.6)$$

где  $\vartheta$  – скорость течения, м/с;  $D$  – коэффициент гидродисперсии, м<sup>2</sup>/с;  $k_{cs}$  – удельная скорость изменения концентрации  $C$ , с<sup>-1</sup>; численная реализация (6) выполнена явным методом первого порядка по методике А.В. Караушева [8]:

$$\frac{q_w}{2h_a\vartheta_a} \leq \Delta y \leq 0,1B, \Delta x = \frac{\vartheta_a \Delta y^2}{2D}, \quad (2.7)$$

$$C_{i+1,j} = \frac{C_{i,j+1} + C_{i,j-1}}{2} + \frac{\Delta x}{\vartheta_a} k_{cs} \left( C_{es} - \frac{C_{i,j+1} + C_{i,j} + C_{i,j-1}}{3} \right), \quad (2.8)$$

$h_a$  и  $B$  – средняя глубина и ширина потока, м;  $\vartheta_a$  – средняя скорость течения, м/с;  $q_w$  – расход сточных вод (или расход воды притока);  $i$  – шаг величиной  $\Delta x$  вдоль потока по оси  $x$ ;  $j$  – шаг величиной  $\Delta y$  поперек потока по оси  $y$ .

Характеристики потока и расходы сточных вод вычислены гидравлическим способом по материалам полевого обследования по состоянию на 01.11.2019: выпуск производственных стоков P101:  $q_{wP101} = 0.012$  м<sup>3</sup>/с; выпуск хозяйственно-бытовых стоков P100:  $q_{wP100} = 0.137$  м<sup>3</sup>/с,  $h_a = 0.57$  м,  $B = 150$  м,  $\vartheta_a = 0.57$  м/с,  $D = 0.0082$  м<sup>2</sup>/с,  $\Delta x = 9.00$  м,  $\Delta y = 0.51$  м [Soldatova et al., 2022].

В качестве  $C_{es}$  использованы средние геометрические и значения  $C_b$  по уравнению (1). Подбор параметра  $k_{cs}$  выполнен по условию:

$$\delta = \frac{100|\Phi_s - \Phi_o|}{\Phi_o} \rightarrow \min, \quad (2.9)$$

где  $\Phi_o$  и  $\Phi_s$  – наблюдаемое и вычисленное значения исследуемой величины.

Оценка загрязнения грунтовых вод первого от поверхности водоносного горизонта (грунтовых вод) выполнена с использованием аналитического решения одномерного уравнения переноса (аналогично (2.6), но с действующими скоростями движения грунтовых вод  $u$ ) при допущении наличия на водосборной поверхности вод антропогенного происхождения с повышенной концентрацией  $C_w$ :

$$C = C_{es} + (C_w - C_{es}) \exp(f(u, k)z), \quad (2.10)$$

где  $z$  – глубина,  $f(u, k)$  – функция действительной скорости движения грунтовых вод  $u$  и удельной скорости трансформации вещества. В качестве  $C_{es}$  в (2.10), как и в (2.8), использованы средние геометрические и значения  $C_b$  (2.1), но вычисленные по данным о грунтовых водах. Подбор  $f(u, k)$  для всех проб и  $C_w$  для каждой пробы выполнен по условию (2.11):

$$\frac{s}{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum(\Phi_{s,k} - \Phi_{o,k})^2}{(N-1) \cdot D_\Phi}} \leq 0.8, \quad (2.11)$$

где  $\Phi_o$  и  $\Phi_s$  – наблюдаемое и вычисленное значения исследуемой величины;  $D_\Phi$  – дисперсия наблюдаемого значения  $\Phi_o$ ;  $N$  – количество проб. Наилучшая сходимость и для речных, и для грунтовых вод получена при использовании среднегеометрических значений ( $C_{es} = C_g$ ).

В целях изучения механизмов трансформации химического состава грунтовых вод была также рассмотрена математическая модель, учитывающая в общих чертах реакции растворения – осаждения и сорбционные процессы:

$$\frac{dC}{dt} = k_{p,1} \cdot (k_{p,2} \cdot C_{eq} - C) + k_s \cdot (S - k_c \cdot C), \quad (2.12)$$

$$k_c = k_m \cdot (S_m - S), \quad (2.13)$$

$$S_m = S_{m,0} \cdot \text{pH}^{n_{\text{pH}}}, \quad (2.14)$$

$$k_{p,1} = k_{p,0} \cdot d_{10}^{n_{kp}}, \quad (2.15)$$

$$k_r = k_{p,1} + k_s \cdot k_m \cdot (S_m - S), \quad (2.16)$$

$$C_x = C_e + (C_0 - C_e) \cdot \exp(-k_r \cdot t), \quad (2.17)$$

$$C_e = \frac{k_{p,1} \cdot k_{p,2} \cdot C_{eq} + k_s \cdot S}{k_r}, \quad (2.18)$$

$$S_e = \frac{\frac{k_{p,1}}{k_s} (C - k_{p,2} \cdot C_{eq}) + k_m \cdot S_m \cdot C}{1 + k_m \cdot C}, \quad (2.19)$$

где  $C$  и  $S$  – концентрация исследуемого вещества в воде и отложениях в момент  $t$ ;  $C_e$  и  $S_e$  – концентрации вещества при  $\frac{dC}{dt} = 0$ ;  $C_0$  – концентрация в воде в момент  $t=0$ ;  $C_{eq}$  – равновесная концентрация в воде;  $S_m$  – максимальная сорбционная способность отложений;  $S_{m0}$ ,  $k_m$ ,  $k_c$ ,  $k_s$ ,  $k_{p,1}$ ,  $k_{p,2}$ ,  $k_r$ ,  $n_{\text{pH}}$ ,  $n_{kp}$  – коэффициенты, определяемые подбором методом общего понижающего градиента. Все расчёты выполнены в среде MS Excel. Более подробная информация о методике математического моделирования гидрогеохимических процессов изложена в работах [Савичев, Чжоу, 2021; Савичев, Ян, Чжоу, 2021; Soldatova et al., 2022].

### 3. Условия формирования химического состава грунтовых и поверхностных вод в водосборе озера Поян (КНР)

В главе рассмотрены условия формирования химического состава грунтовых и поверхностных вод в водосборе озера Поян – основных объектов исследования. Информация об условиях формирования химического состава других объектов, рассмотренных при решении поставленных задач, приведены в соответствующих разделах работы.

#### 3.1. Административное и географическое положение

Озеро Поян – одно из крупнейших пресноводных озёр Китая – в географическом отношении расположено в южной части бассейна р. Янцы, на границе участков её среднего и нижнего течения, в административном отношении – на юго-востоке Китая. Площадь водосбора озера Поян составляет 162 225 км<sup>2</sup>, из которых 156 743 км<sup>2</sup> (96,6 %) приходится на провинцию Цзянси.

Провинция Цзянси делится на одиннадцать городских округов, а именно – города Наньчан (административный центр), Цзиндэчжэнь, Пинсян, Цзюцзян, Синьюй, Интань, Ганьчжоу, Цзиань, Ичунь, Фучжоу и Шанжао. Она граничит с провинциями Чжэцзян и Фуцзянь на востоке, провинциями Гуандун на юге, провинциями Хунань на западе и провинциями Хубэй и Аньхой на севере (рис. 3.1.1).

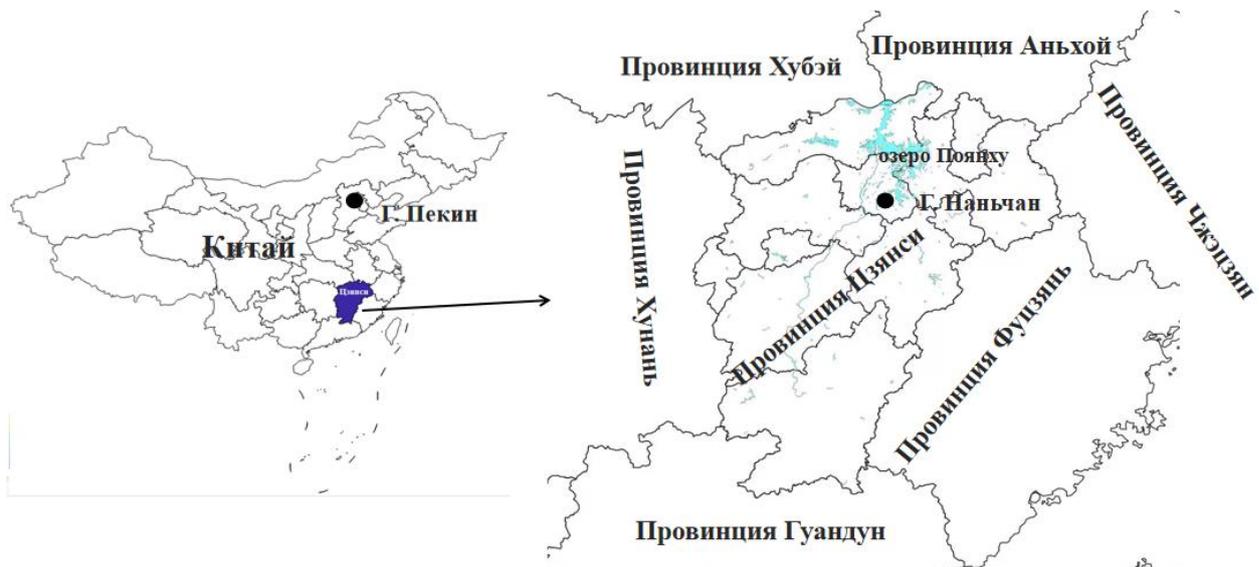


Рисунок 3.1.1 – Карта административного деления района исследований в водосборе озера Поян и прилегающих территорий

Провинция Цзянси является внутренним районом нижнего течения рек Янцзы, Жемчужной реки и южной части нижнего течения Фуцзянь (согласно бюллетеню [Статистика провинции Цзянси в 2021 году]). По результатам седьмой общенациональной переписи населения постоянное население провинции Цзянси на 1 ноября 2020 г. составляло 45,1886 млн человек [Сообщение седьмой общенациональной переписи населения].

Согласно физико-географическому районированию Китая [Zhao Songqiao, 1983], водосбор и непосредственно озеро Поян расположены в зоне смешанных лесов среднего и нижнего течения реки Янцзы в северных субтропиках, а остальная часть района относится к области вечнозеленых широколиственных лесов в холмистой котловине на южном берегу реки Янцзы в средних субтропиках (рис. 3.1.2; по [Реймерс, 1990] – в зоне переменного-влажных лесов (включая муссонные) субтропического пояса).

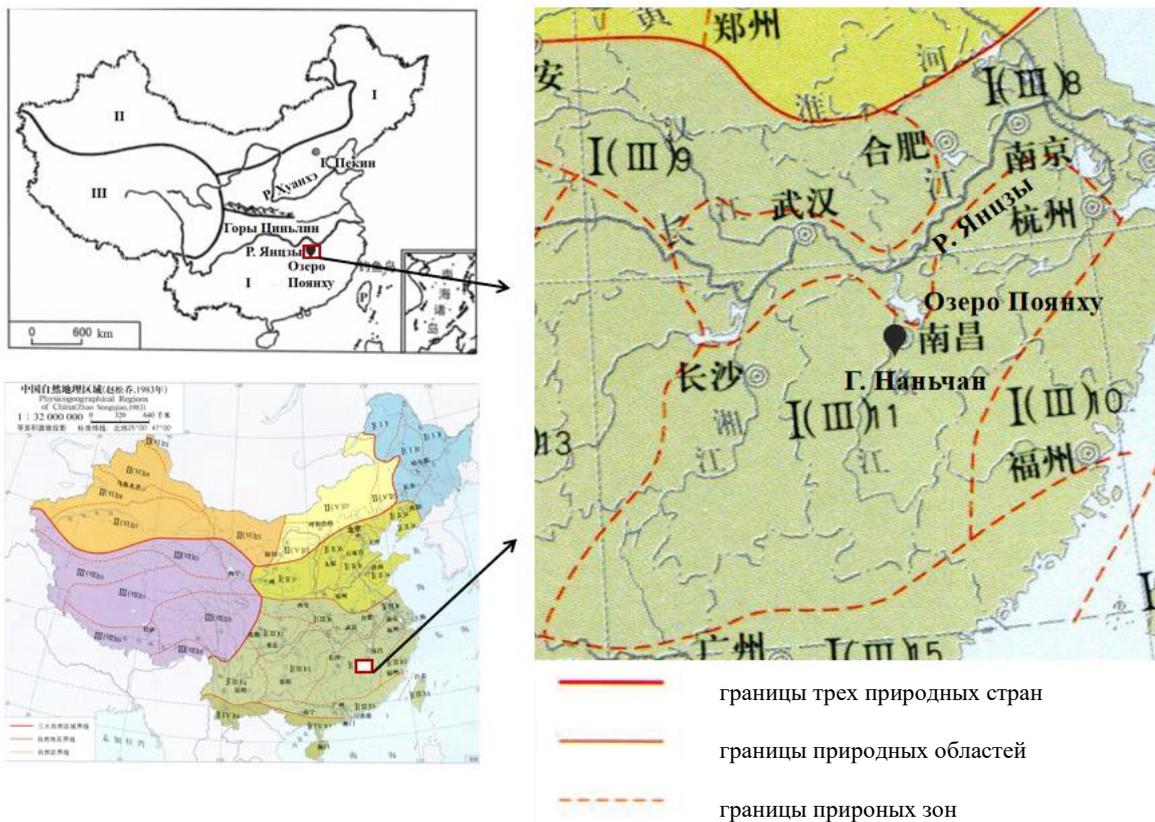


Рисунок 3.1.2 – Физико-географическое районирование Китая [Zhao Songqiao, 1983];  
условные обозначения:

I – Восточный муссонный регион;

(I) Северо-восточные влажные и полувлажные регионы с умеренным климатом: 1 – хвойно-лесной массив Большого Хингана; 2 – район хвойных и широколиственных смешанных лесов в восточных горах Северо-Восточного Китая; 3 – лесные пастбища Северо-Восточной равнины;  
(II) Влажные и полувлажные регионы с теплым умеренным климатом в Северном Китае: 1 – лиственные широколиственные леса на полуострове Ляодун и Шаньдун; 2 – полусухие лиственные широколиственные леса на Северо-Китайской равнине; 3 – полусухие

лиственные широколиственные леса в горах Хэбэй-Шаньси; 4 – лесостепь Лёссового плато, степной район;

(III) Влажные субтропические районы центрального и южного Китая: 1 – северный субтропический смешанный лесной массив в среднем и нижнем течении равнины реки Янцзы; 2 – северный субтропический район смешанных лесов горы Циньлин и Дабашань; 3 – среднесубтропический вечнозеленый широколиственный лес в прибрежных горах провинции Фуцзянь, провинция Чжэцзян; 4 – вечнозеленый широколиственный лес в холмистой котловине на южном берегу реки Янцзы в средних субтропиках; 5 – район вечнозеленых широколиственных лесов в средних субтропиках в Сычуани; 6 – среднесубтропический вечнозеленый широколиственный лес на плато Гуйчжоу; 7 – район вечнозеленых широколиственных лесов в среднем субтропическом плато Юньнань; 8 – южный субтропический лингнанский холмистый вечнозеленый широколиственный лесной массив; 9 – южные субтропические и тропические вечнозеленые широколиственные леса и муссонные леса острова Тайвань;

(IV) Тропический влажный район Южного Китая: 1 – тропический лес Цюнлей и муссонный лес; 2 – южный Юньнаньский тропический муссонный лес; 3 – зона тропических лесов островов Хайнань;

II Северо-западный засушливый регион;

(V) Пастбища умеренного пояса Внутренней Монголии: 1 – район засушливых пастбищ в западном бассейне реки Ляохэ; 2 – плато Внутренней Монголии засушливая степь, район пустынной степи; 3 – плато Ордос засушливая степь, район пустынной степи;

(VI) Северо-западные пустыни с умеренным и теплым умеренным климатом: 1 – умеренный пустынный район плато Алкса; 2 – зона пустынь умеренного пояса Джунгарской котловины; 3 – Алтайская горно-степная и хвойно-лесная зона; 4 – Тяньшаньская горная степь и хвойный лес; 5 – тёплый умеренный пустынный район Таримской котловины;

III Цинхай-Тибетский альпийский регион;

(VII) Цинхай-Тибетское нагорье: 1 – районы тропических и субтропических лесов на южном склоне Гималаев; 2 – горные хвойные леса и альпийские луга в восточном Тибете и западной части Сычуани; 3 – горно-кустарниковая степь на юге Тибета; 4 – плато Цянтан, альпийские луга и горные луга на юге Цинхая; 5 – бассейн Кайдам и пустынная местность на северном склоне гор Куньлунь; 6 – альпийская пустыня и пустынные пастбища в горах Али-Куньлунь

### **3.2. Климатические и гидрологические условия**

Весь бассейн озера Поян относится к субтропическому теплому и влажному муссонному климату, подверженному влиянию муссонной циркуляции, характеризуется четырьмя ярко выраженными сезонами, мягким и влажным климатом, обильными осадками и достаточным

количеством солнечного света. Среднегодовая температура в бассейне составляет 16,2-19,7°C, последовательно повышаясь с севера на юг, а разница температур между севером и югом составляет около 3°C. Существует большая разница температур между летом и зимой: в январе, под влиянием холодного воздуха на севере, средняя температура выше на юге и ниже на севере при среднемесячной температуре 3,5-5,0°C. Июль характеризуется в основном наличием высокого давления, с высокой температурой воздуха и небольшой амплитудой её колебания. Среднемесячная температура составляет 19,8-26,9°C, а экстремальная максимальная температура превышает 40°C. Зимой в провинции тепло, летом жарко, безморозный период 240-307 дней. Продолжительность среднесуточной температуры выше 10°C составляет 240-270 дней, активная накопленная температура 5000-6000°C, суммарная годовая солнечная радиация 97-115 ккал/см<sup>2</sup>, годовое количество солнечных часов 1473-2078ч, средняя относительная влажность водосбора составляет 75–83 %, что очень благоприятно для развития двух- и трехурожайной системы выращивания риса и теплолюбивых субтропических хозяйственных деревьев [Liu Yuanpo, et al, 2012; Zhang Qiang, et al, 2015; Zhang Qi, et al, 2018].

Провинция Цзянси — одна из самых дождливых провинций Китая. Среднегодовое количество осадков в провинции составляет 1638 мм, а ее среднегодовые общие водные ресурсы составляют 156,5 млрд м<sup>3</sup>. Межгодовой ход осадков очень велик. На рис. 3.2.1 показано изменение количества осадков в провинции Цзянси с 1956 по 2020 гг. Согласно «Бюллетеню водных ресурсов провинции Цзянси за 2019 год», годовое количество осадков распределяется во времени и пространстве неравномерно: больше осадков выпадает на юге и меньше на севере, больше на востоке и меньше на западе (рис. 3.2.2). Годовое количество осадков в системе реки Ганьцзян составляет от 1247,5 до 2469,5 мм, а среднегодовое количество осадков составляет 1743,8 мм; выпадение осадков в основном происходит в марте-июле, что составляет 76,8% годового количества осадков (рис. 3.2.3). Количество осадков в системе реки Фухэ – от 1422,5 до 2313,0 мм, среднегодовое количество осадков – 1948,6 мм, основная часть осадков – в апреле-июле. Годовое количество осадков в водосборе реки Жаохэ находится в диапазоне 1363,0–2413,5 мм, среднегодовое количество осадков – 1811,0 мм, выпадение осадков – также в основном в апреле-июле. Годовое количество осадков в системе реки Сюшуй – 1028,0–1919,0 мм, среднегодовое количество осадков составляет 1371,9 мм, основная часть осадков – в апреле-июле. Годовое количество осадков водной системы непосредственно в районе озера колеблется в пределах 871,5-1775,0 мм при среднем значении 1402,9 мм; основная часть осадков выпадает в апреле-июле. [Shankman, Keim, Song, 2006; Shankman, Davis, De Leew, 2009, Annual Hydrological Report P. R. China. 2020; Jiangxi Water Resources Bulletin, 2020; Jiangxi Water Resources Bulletin, 2021].

Среднегодовое испарение в бассейне озера Поян составляет 1148,6-1937,3 мм. В горных районах на северо-западе Цзянси испарение несколько ниже – в большинстве горных районов западного Цзянси, северо-восточного Цзянси и западного горного района Уи испарение менее 1500 мм. Район озера Поян характеризуется более высокими значениями солнечной радиации и скоростей ветра. Соответственно, среднегодовое испарение выше, чем в горных районах водосбора. Так, в г. Наньчан оно достигает 1937,3 мм. Испарение летом самое большое, зимой – наименьшее. Среднее многолетнее давление водяного пара в бассейне составляет 16,6-19,1 гПа, а особенности его географического распространения велики в южной части Цзянси, малы в северной части Цзянси, велики на равнинах и малы в горных районах. Атмосферное давление в районе озера Поян летом самое высокое. [Li Yunliang. et al, 2013; Zhang Qiang. et al, 2015].

Гидрологический режим рассматриваемой территории характеризуется общим повышением уровней воды в озере Поян к июлю – августу (рис. 3.2.4) и достаточно выраженной зависимостью водного стока от атмосферного увлажнения (рис. 3.2.5). При этом следует отметить, что малые глубины в ложе озера способствуют высокой вариабельности площади акватории (рис. 3.2.6) в разные по водности годы и сезоны [Shankman et al., 2006. 2009; Li et al., 2019; Tan et al., 2020].

Также отметим, что вследствие наблюдаемого распределения атмосферного увлажнения и суммарного водного стока примерно с сентября – октября сток притоков озера Поян состоит в значительной степени из инфильтрационных вод, поступивших в водоносные горизонты, а через некоторое время и в речную сеть (рис. 3.2.7; оценка подземной составляющей стока выполнена по методу фильтрации сигнала согласно [Lyne, Hollick, 1979] в интерпретации [Xin, Yin, Li, 2017]). С учётом этой оценки сток притоков озера Поян с октября по январь может ориентировочно рассматриваться как подземный сток.

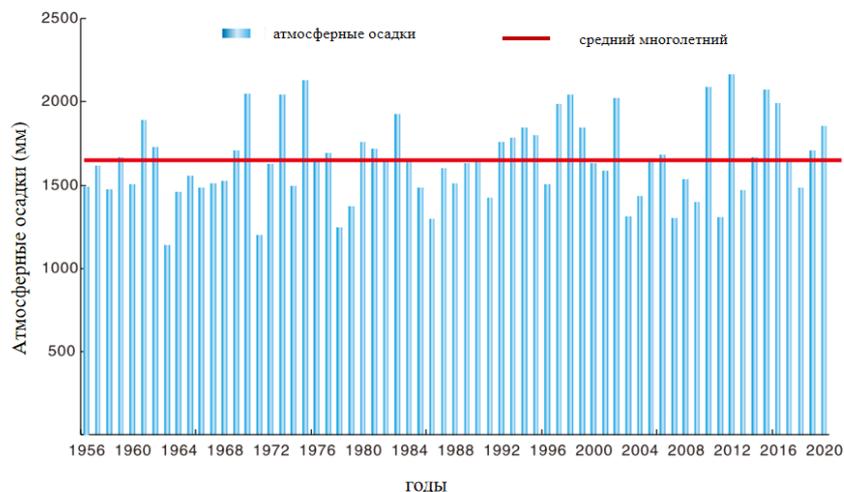


Рисунок 3.2.1 – Изменение количества осадков в провинции Цзянси с 1956 по 2020 гг.

[Jiangxi Water Resources Bulletin, 2020]

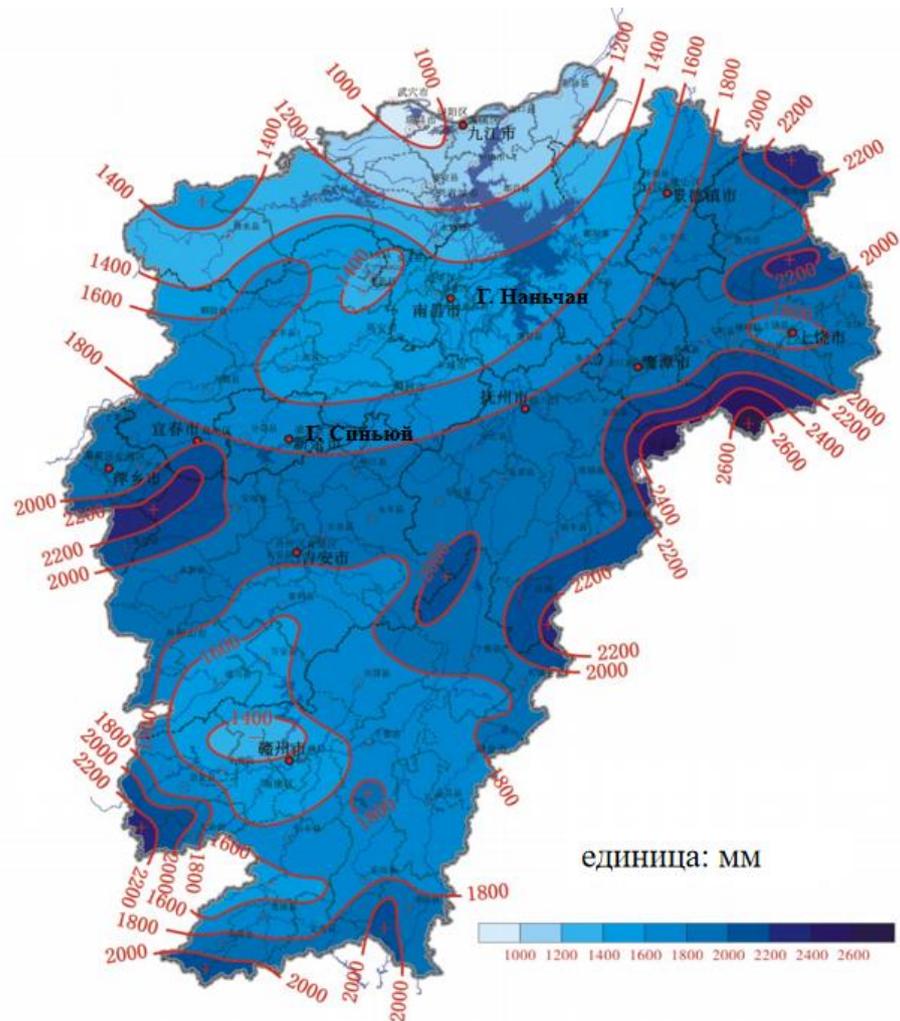


Рисунок 3.2.2 – Изолиния осадков в провинции Цзянси в 2019 г.[Jiangxi Water Resources Bulletin, 2019]

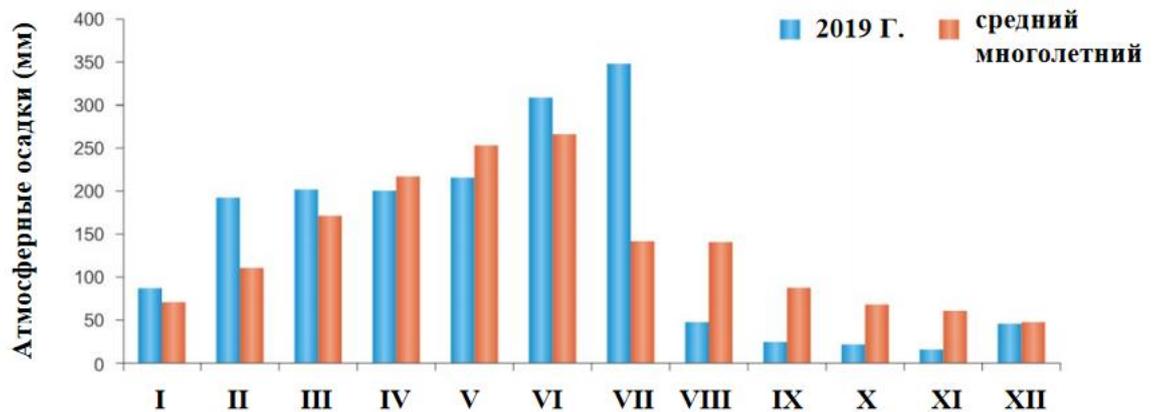


Рисунок 3.2.3 – Ежемесячная карта распределения осадков в провинции Цзянси в 2019 г. [Jiangxi Water Resources Bulletin, 2019]

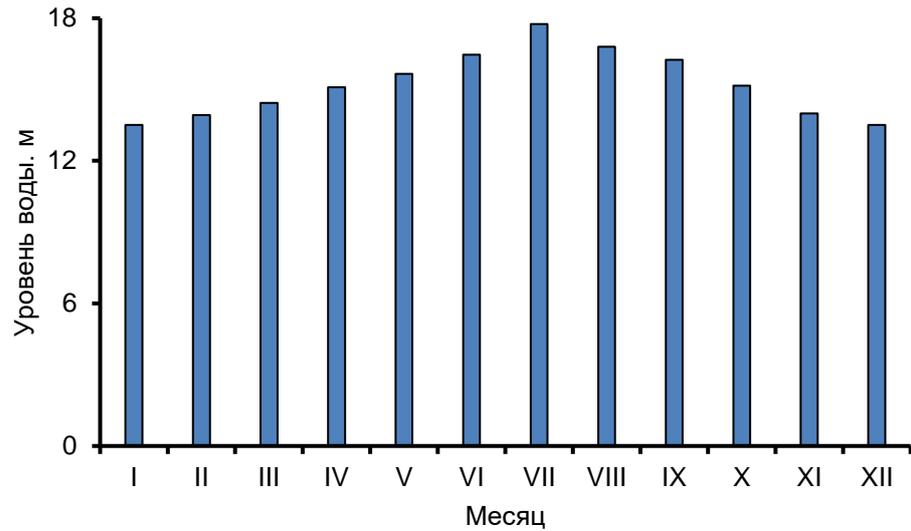


Рисунок 3.2.4 – Изменение уровней воды в озере Поян в среднем за многолетний период (составлено по данным [Shankman, Keim, Song, 2006])

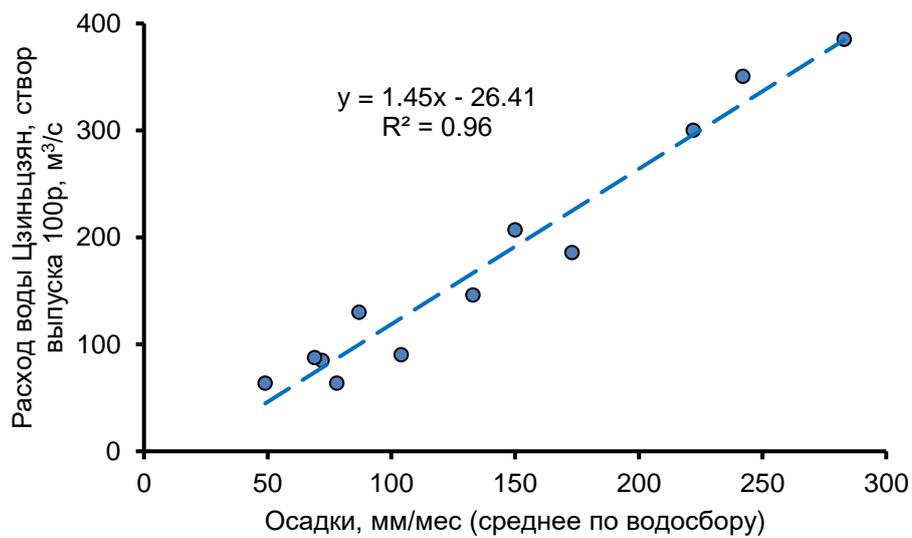


Рисунок 3.2.5 – Зависимость между среднегодовыми значениями атмосферного увлажнения по водосбору озера Поян и расходами воды реки Цзиньцзян (элемент системы р. Цзиньцзян – р. Ганьцзян – озеро Поян – р. Янцзы)

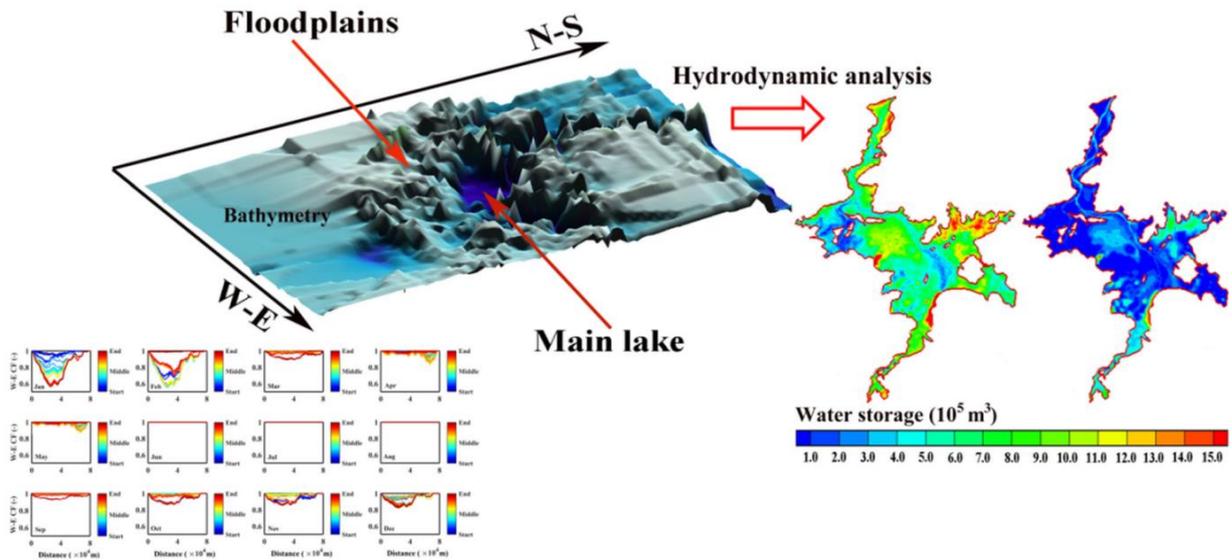


Рисунок 3.2.6 – Батиметрия ложа и объёмы воды озера Поян и приозёрных территорий [Li et al., 2019]

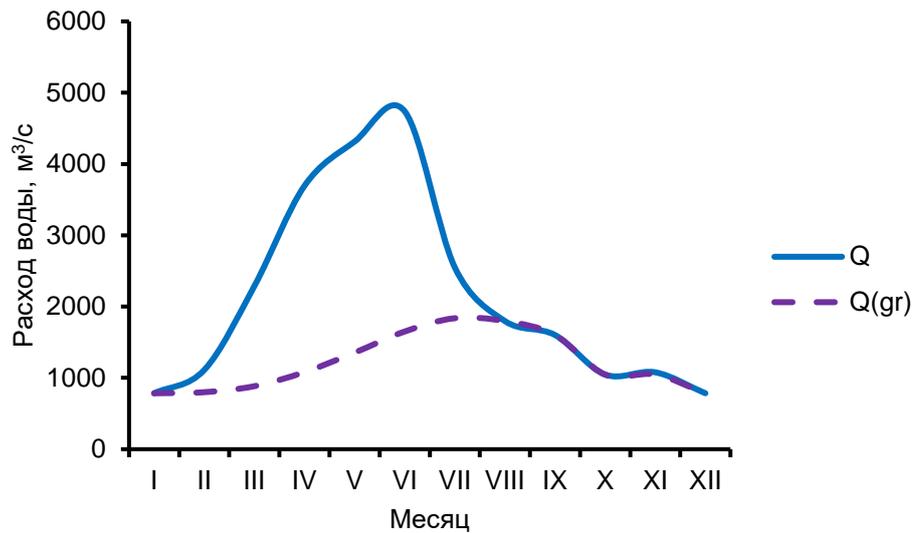


Рисунок 3.2.7 – Расчётное внутригодовое изменение суммарного стока р. Ганьцзян и его подземной составляющей (фильтрация по методу [Lyne, Hollick, 1979] в интерпретации [Xin, Yin, Li, 2017])

### 3.3. Геологические и гидрогеологические условия

По геологическому строению бассейн озера Поян ограничен зоной разломов Пинсян-Гуанфэн, северная часть бассейна относится к Янцзыской квазиplatforme, а центральная и южная – к Южно-Китайской складчатой системе [Jiangxi Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, 1984]. Бассейн озера Поян представляет собой крупномасштабный разломный бассейн, образовавшийся в результате растяжения земной коры [Zhang Meihua. 2014]. После

Индосинского движения он пережил несколько периодов тектонической активности: с северо-запада и почти с востока на запад. Разлом Ганьцзян является основным разломом на исследуемой территории. Он проходит с северо-востока на юго-запад и контролирует развитие и эволюцию бассейна [Bi Hua,1996; Liang Xing,2006].

Многие ученые [Li Siguang,1973; Wang Hongzhen,1983; Ren Jishun,1990; Huang Jiqing,1959] изучали тектонические проблемы в Южном Китае. Индосинское движение было важным тектоническим движением, затронувшим Южный Китай, после которого Южный Китай превратился в прибрежно-тихоокеанскую тектоническую область, входившую в зону активизации континентальной окраины в Восточной Азии. В то же время, глядя на более широкий тектонический фон, из-за появления пояса Бениоффа, восточный Китай превратился из пассивного края в активный край тихоокеанского типа. В период Яньшань западно-тихоокеанская древняя плита столкнулась с восточной частью Китайского континента, и характер западно-тихоокеанской континентальной окраины изменился с андийского типа на западно-тихоокеанский. Южный Китай испытал интенсивную магматическую деятельность, а в районе Нижней Янцзы он в основном характеризуется сильной складчатостью, надвигами и левосторонними сдвигами.

Породы водораздела в основном представлены осадочными породами. Также встречаются изверженные породы и метаморфические породы. В северной части широко распространены осадочные породы и пирокластические осадочные породы, развитые в мезопротерозойской шуанцяошанской серии. Морские обломочные и вулканогенные отложения, развитые в неопротерозойских толщах Синиана, распространены по всему бассейну. Кембрийская, ордовикская, силурийская, девонская, каменноугольная и пермская системы в палеозое также развиты. Четвертичные толщи представляют собой в основном речные и озерные отложения [Liu Yuanpo, 2012]

В соответствии с условиями залегания и гидравлическими свойствами, подземные воды в бассейне озера Поян можно разделить на трещинные и трещинно-карстовые воды в осадочных породах, поровые воды рыхлых отложений, трещинные воды в метаморфических породах и трещинные воды в магматических породах. Пористые водоносные горизонты рыхлых пород широко распространены по берегам рек Ганьцзян и Фухэ и на аллювиальной равнине Ганьфу. Водоносный горизонт в основном сложен голоценовыми, верхнеплейстоценовыми и среднеплейстоценовыми аллювиальными песчано-гравийными отложениями, имеющими двуслойное строение: верхняя часть глинисто-алевритовая, частично прослоенная линзами илистых глин, общая мощность 5–15 м, средней мощностью 6,95 м и слабой проводимостью [Cheng, Changjian, 2021].

Подробная геологическая и гидрогеологическая характеристика района исследования приведена в [Geological memoirs..., 1984; Yu Xinqi et al., 2006], краткая информация на русском языке – в работе [Солдатов, 2016]. В соответствии с указанными выше работами, 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. Между ними сформировался тектонический пояс Ганьхан [Yu Xinqi et al., 2006] в направлении с северо-востока на юго-запад. В геологическом строении рассматриваемой территории участвуют образования различного происхождения, возраста и состава (рис. 3.3.1). Схематичный разрез в юго-восточной части озера Поян (устьевая область реки Raohe) представлен на рис. 3.3.2.

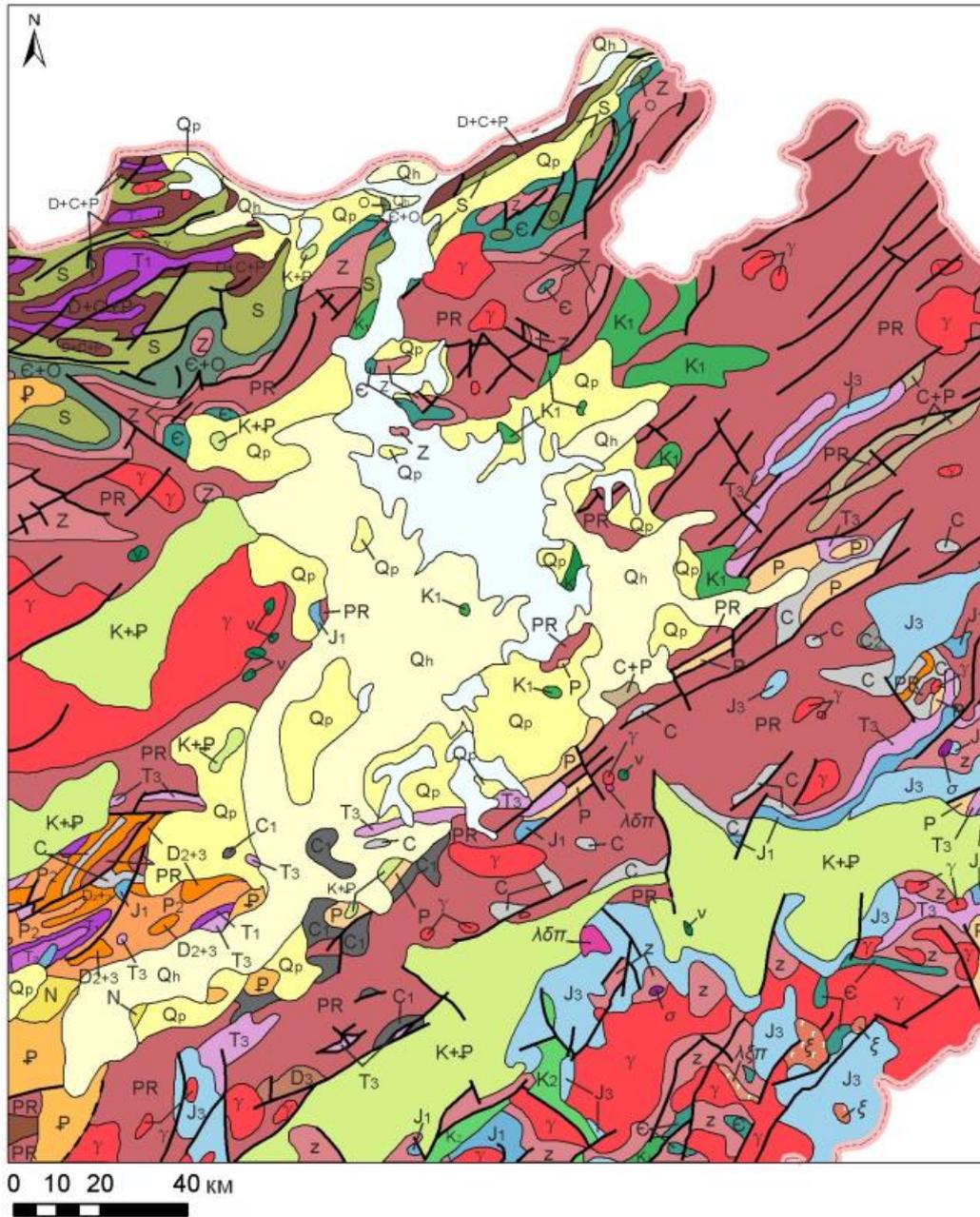
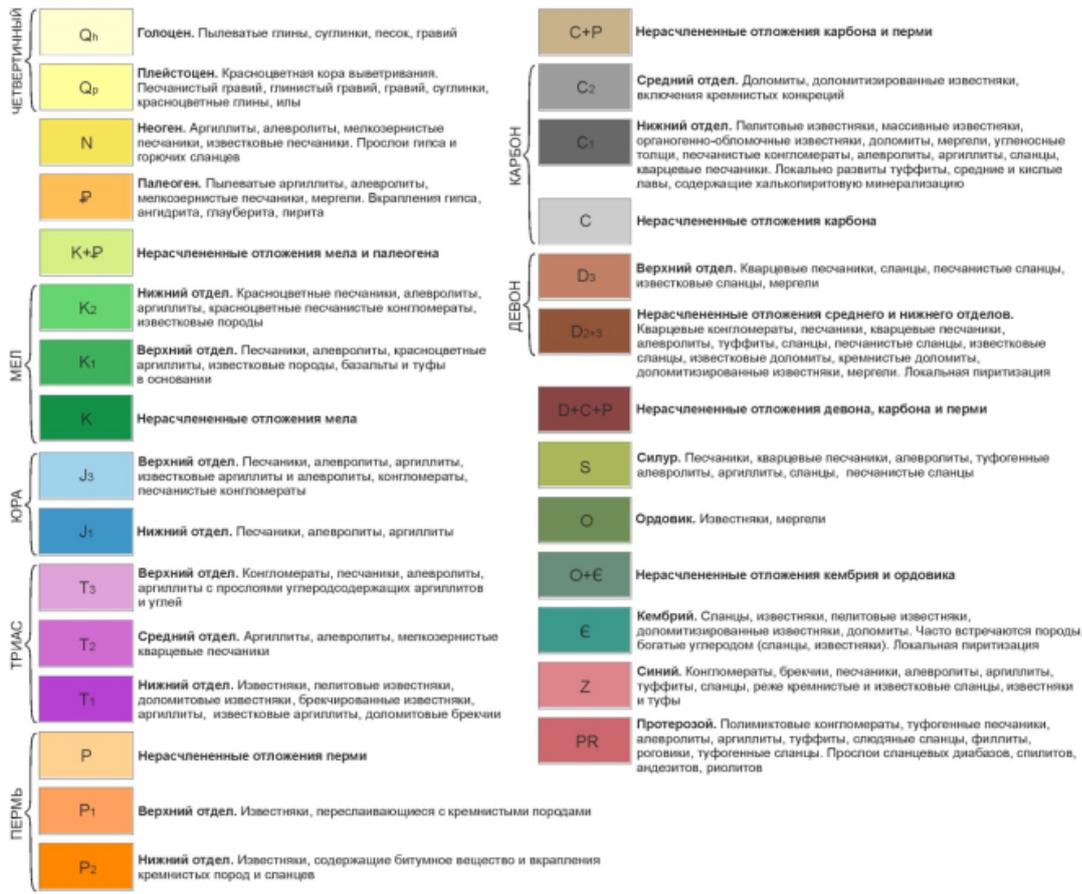


Рисунок 3.3.1 – Фрагмент геологической карты провинции Цзяньси (материалы [The geological map..., 1996] приведено по [Солдатов, 2016]); условные обозначения:



*Интрузивные образования*

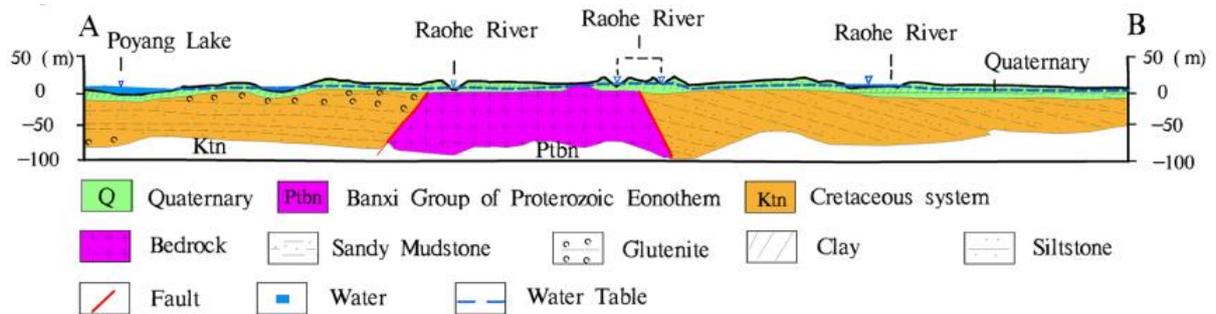


Рисунок 3.3.2 – Схематичный геологический разрез устьевой области реки Раоэ (Raohe) в юго-восточной части озера Поян [Liao et al., 2018]

В гидрогеологическом отношении водосбор озера Поян расположен в восточной части Янцзыйского гидрогеологического района, в пределах которого выделяют пять основных межгорных артезианских бассейнов (рис. 3.3.3, 3.3.4).

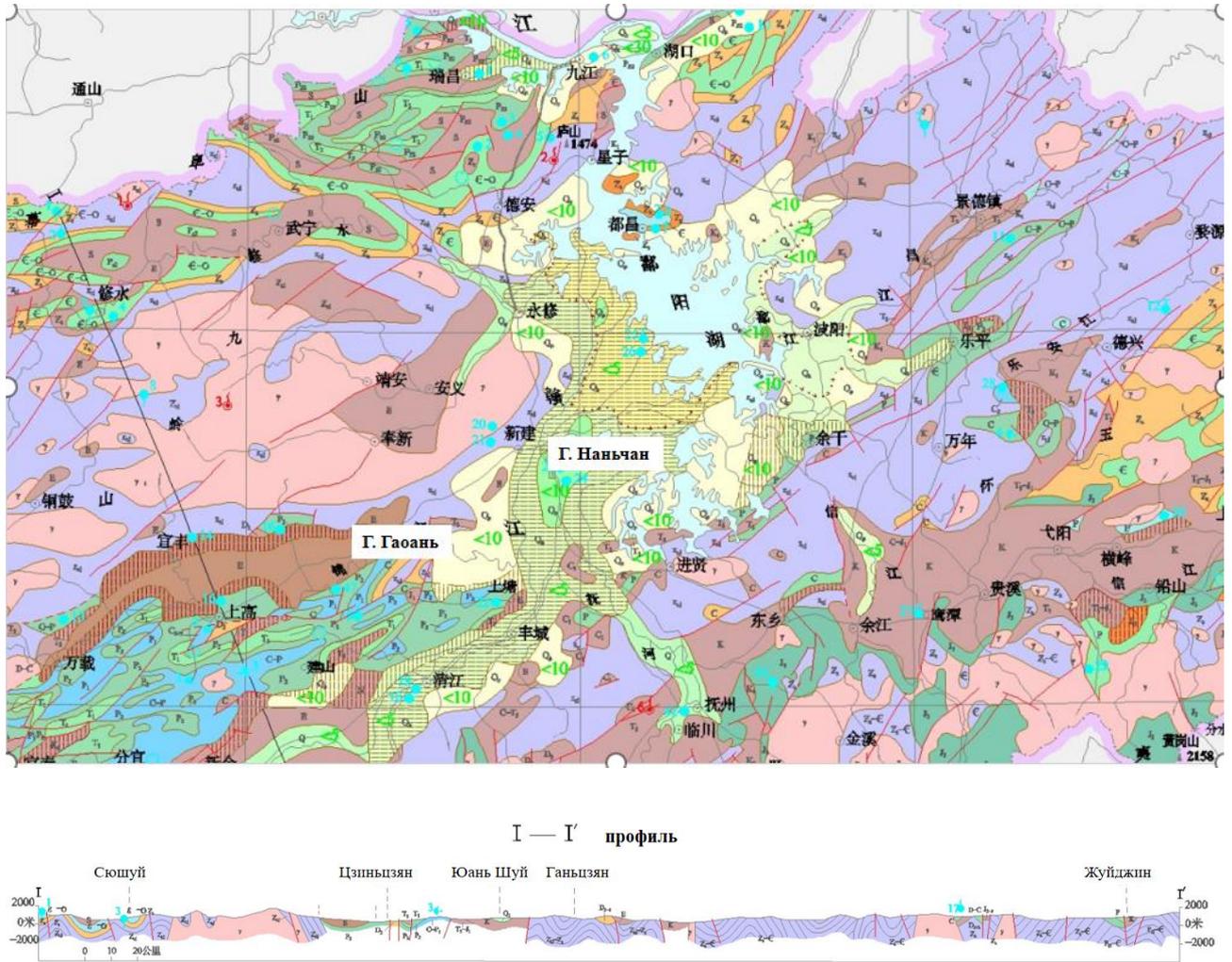


Рисунок 3.3.3 – Фрагмент гидрогеологической карты провинции Цзянси [веб-сайт Китайской академии геологических наук, Гидрогеологический атлас Китая, 1979]

#### I. Водоносные горные породы и степени их обводненности

##### 1. Группа рыхлых пористых водоносных пород каменного типа:

■ очень водообильные; ■ водообильные; ■ умеренно обводненные; ■ слабо обводненные; ■ очень слабо обводненные;

##### 2. Группа обломочных пород с порами и трещинами:

###### 1) группа обломочных пород:

■ умеренно обводненные; ■ слабо обводненные;

###### 2) Группа обломочных пород с карбонатами:

■ умеренно обводненные; ■ слабо обводненные;

##### 3. Карбонатитоподобные трещиноватые карстовые водоносные образования:

1) водоносные породы карбонатитового типа:

 обводненные;  умеренно обводненные;

2) Карбонатиты с прослоями обломочных пород водоносной группы пород:

 водообильные;  умеренно обводненные;  слабо обводненные

4. Водоносная группа магматических пород с трещинами:

1) интрузивные образования:

 слабо обводненные;

2) экстррузивные образования:

 слабо обводненные;

5. Метаморфические трещиноватые породы:

 слабо обводненные;

II. Соленость подземных вод (г/л)

 <1 – пресные;  1-3 – солоноватые (глубины около 400 м);  >3 – солоноватые и соленые (глубина 150–500 м);

III. Глубина залегания грунтовых вод

 значение глубины залегания грунтовых вод;

IV. Различные границы и прочее:

 граница группы водоносных пород;  граница солености;  нарушения

В случае непосредственно озера Поян можно выделить внешние и внутренние области подземного питания. В первом случае подземные воды формируются в протерозойских, реже – палеозойских и мезозойских, породах в зоне экзогенной трещиноватости и разрывных нарушений, на участках развития карбонатных пород – в карстовых ёмкостях. Во втором случае области питания представляют собой межгорные впадины и депрессии, сложенные в основном отложениями мезозойского, палеогенового, неогенового и четвертичного возраста. Наиболее водообильны четвертичные аллювиальные и аллювиально-озерные песчано-глинистые отложения к западу и юго-западу от озера Поян в водосборах его притоков [Солдатова, 2016].

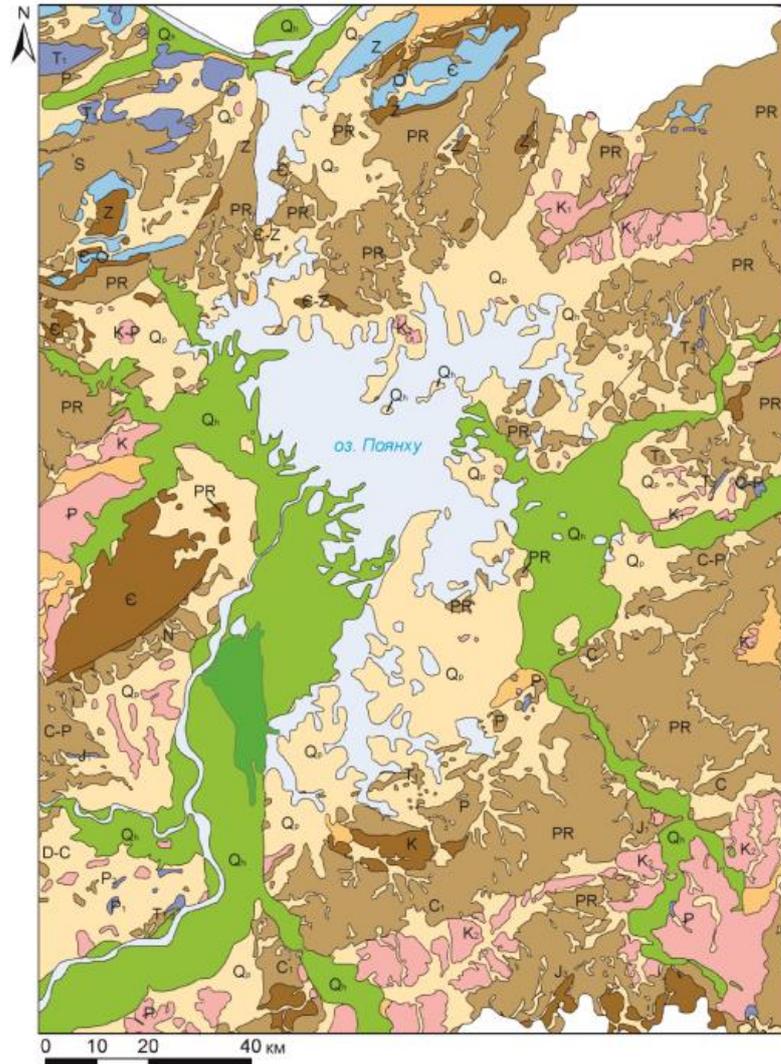
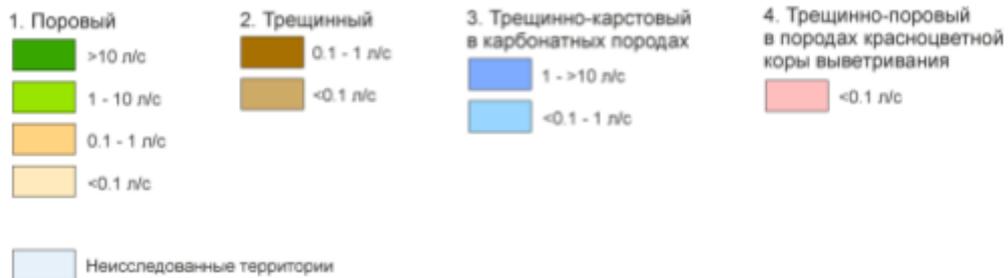


Рисунок 3.3.4 – Фрагмент карты водообильности горных пород на приозерных территориях в провинции Цзяньси (приводится по [Солдатова, 2016]); условные обозначения:

Тип резервуара (со значениями удельного дебита скважин):



### 3.4. Хозяйственная деятельность и ее влияние на режим и эколого-геохимическое состояние грунтовых вод

Китайская народная республика характеризуется значительным населением, однако его плотность по территории распределена весьма неравномерно (рис. 3.4.1).

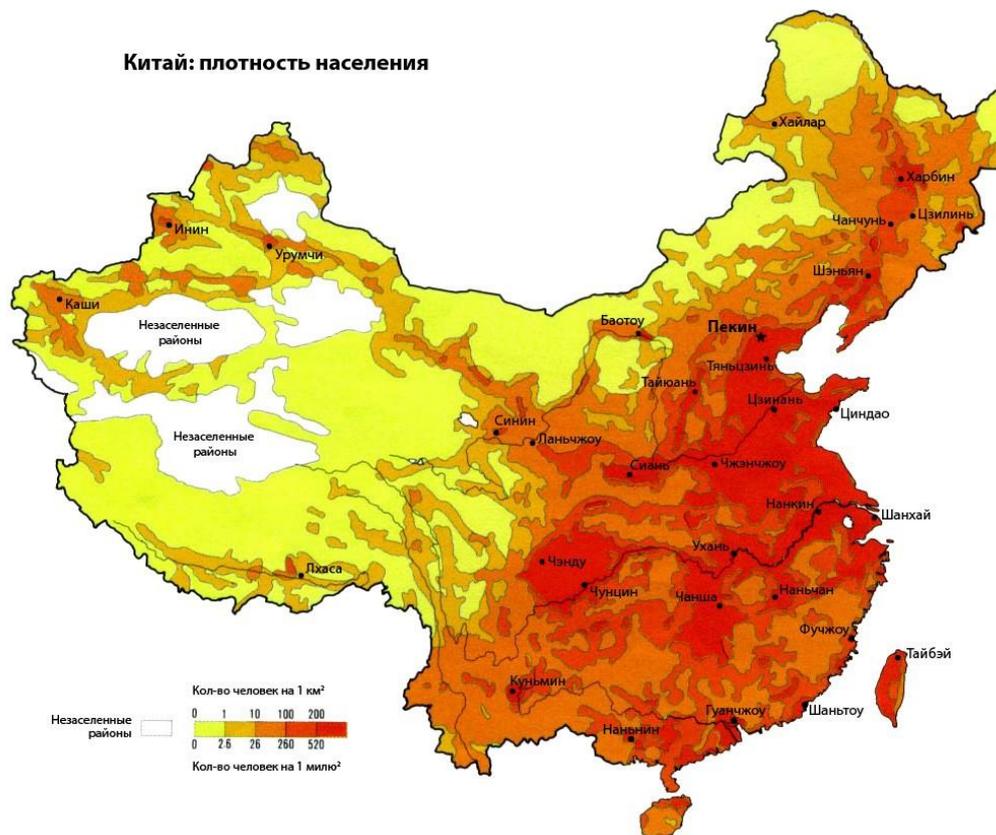


Рисунок 3.4.1 – Карта распределения плотности населения КНР (ссылка «[https://e-news.su/uploads/posts/2016-10/1476094145\\_e-news.su\\_china-density-map\\_ru.jpg](https://e-news.su/uploads/posts/2016-10/1476094145_e-news.su_china-density-map_ru.jpg)» по состоянию на 28.03.2023)

Собственно в водосборе озера Поян, точнее – в провинции Цзянси, по данным Национального бюро статистики КНР (<http://www.stats.gov.cn/>), к концу 2021 года численность постоянного населения провинции Цзянси превышает 45 млн. человек, в том числе 28 млн постоянных жителей в городах и 17 млн. постоянных жителей в сельской местности; среди них городское население Наньчана составляет 5,06 млн. человек, сельское – 1,37 млн. человек; городское население Ичуня – 2,85 млн. человек, плотность населения – около 270 человек/км<sup>2</sup>, сельское постоянное население составляет 2,12 млн. человек; постоянное городское население города Синьюй – 0,89 человек, постоянное сельское население – 0,31 млн человек; постоянное городское население города Ганьчжоу – 3,27 млн. человек, постоянное сельское население – 6,57 млн. человек. Изменение плотности населения провинции Цзянси в 2001–2021 гг. показано на

рис. 4.3.2, а распределение плотности населения по административным районам провинции (Цзянси) – рис. 3.4.3.

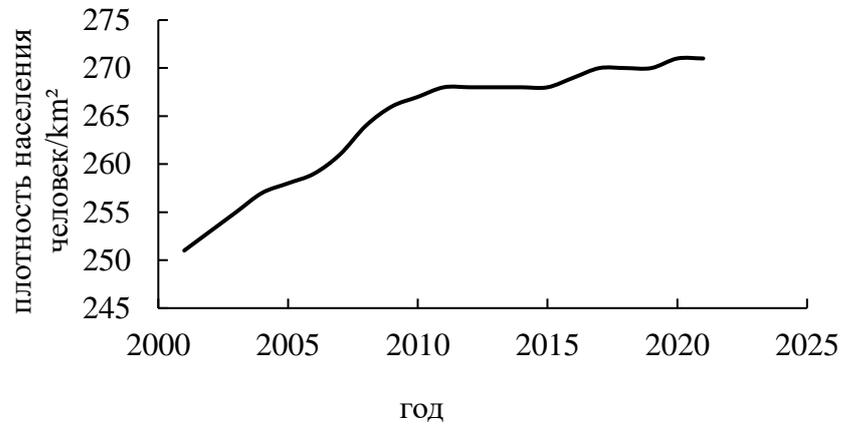


Рисунок 3.4.2 – Изменение плотности населения провинции Цзянси за 2001–2021 гг.

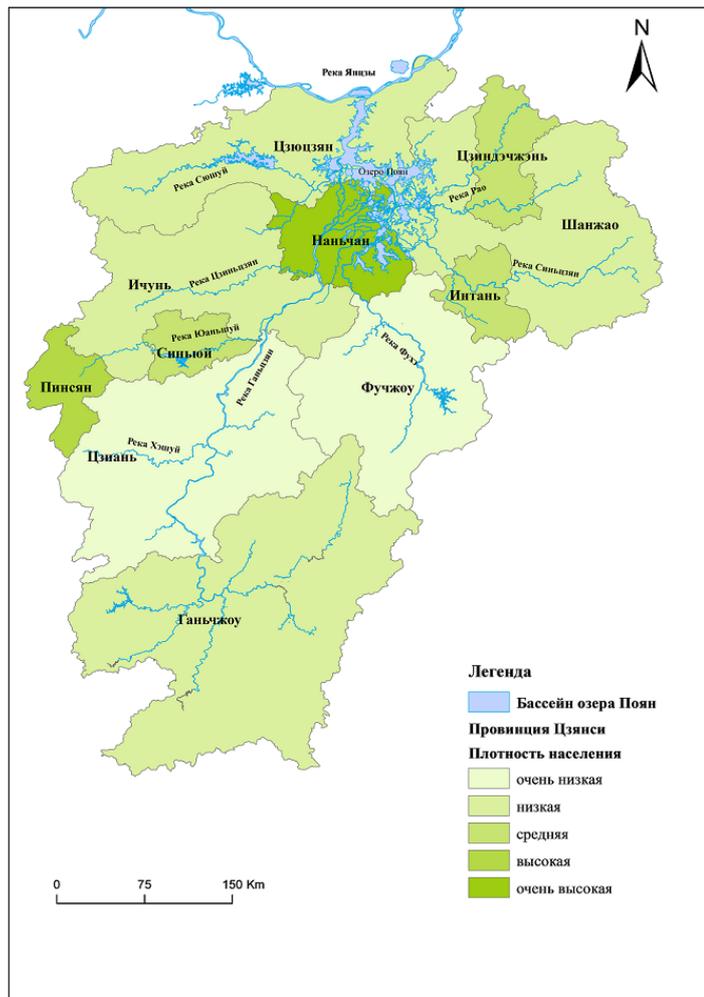


Рисунок 3.4.3 – Средняя плотность населения каждого административного района провинции Цзянси за 2001–2021 гг.

Производственный потенциал, как и плотность населения, рассредоточен по территории неравномерно (рис. 3.4.4), причем непосредственно территория водосбора озера Поян характеризуется развитием промышленности, включая автомобилестроение, электронику, целлюлозно-бумажную, легкую, пищевую, фармацевтическую, горнодобывающую (W, Cu) промышленности, производство строительных материалов (табл. 3.4.1).

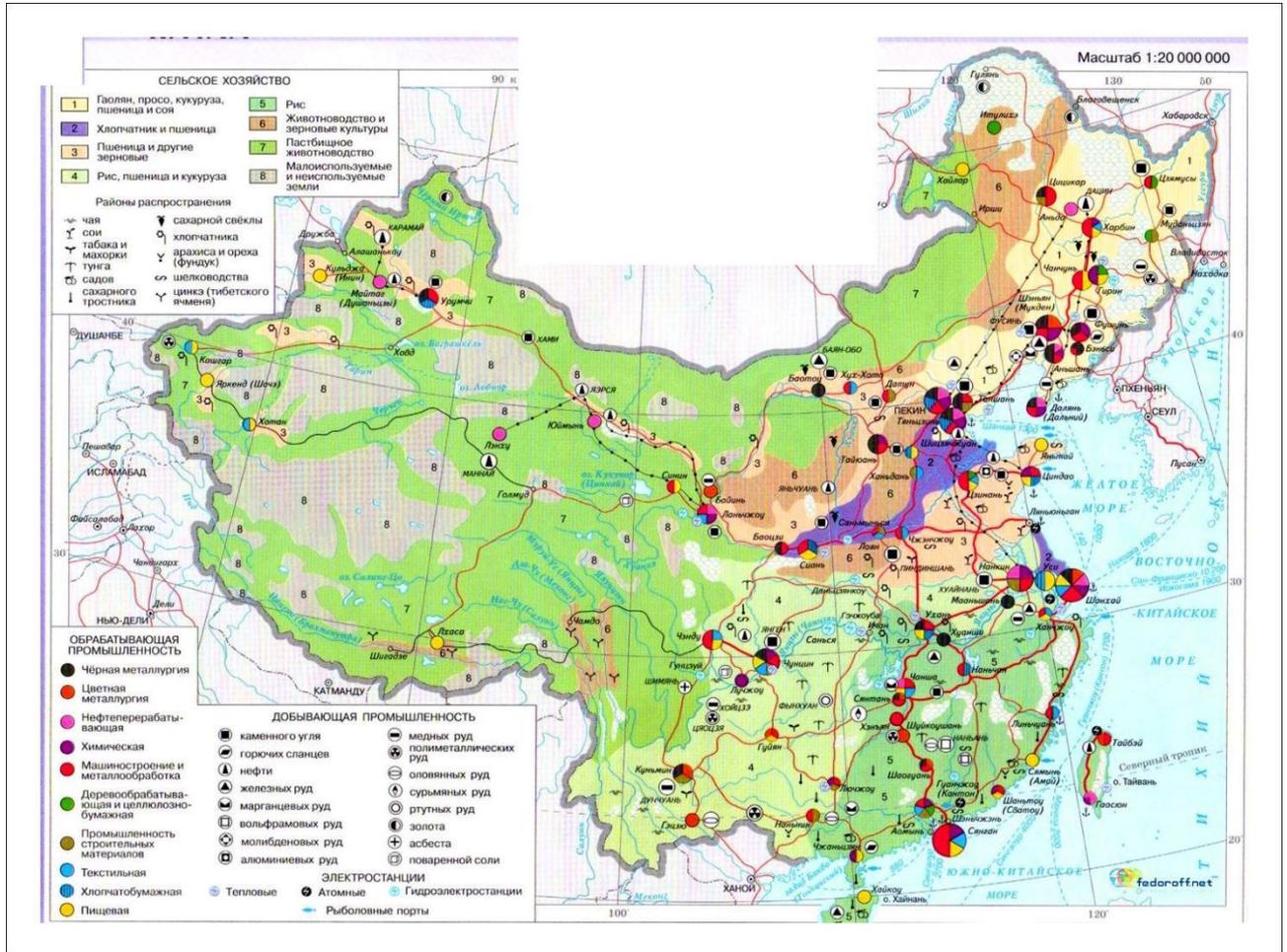


Рисунок 3.4.4 – Схема производственного потенциала КНР (ссылка «[https://fedoroff.net/\\_id/6/86608616.jpg](https://fedoroff.net/_id/6/86608616.jpg)» по состоянию на 28.03.2023)

Таблица 3.4.1 – Показатели экономического развития провинции Цзяньси за 2013-2021 гг.

Наименование товара, ед. в год	2013	2014	2015	2016	2019	2020	2021
Машины, 10 <sup>4</sup> штук	36,8	46,2	42,2	53,7	49,1	45,1	43,6
Поликремний, 10 <sup>4</sup> кг	164,5	188,2	1641,7	1366,7	1185,0	959,4	223,4
Редкоземельные элементы, 10 <sup>4</sup> кг	-	-	-	-	1484,6	1452,4	1439,2
Химический API/тонн	-	-	55569,7	73138,3	77132,0	72207,5	123203,8
Химическое волокно, 10 <sup>4</sup> тонн	42,0	45,9	-	-	62,9	86,9	107,7

Химический API/ тонн	-	-	55569,7	73138,3	77132,0	72207,5	123203,8
Химическое волокно, 10 <sup>4</sup> тонн	42,0	45,9	-	-	62,9	86,9	107,7
Ткань, 10 <sup>4</sup> м	78000	97000	114447,3	134572,4	103052,4	77102	95518
Одежда, 10 <sup>4</sup> штук	-	-	127946,4	143187,7	122491,9	90379	136204
Целлюлозно- бумажная, 10 <sup>4</sup> тонн	181,9	154,5	-	-	276,2	291,1	280,2
Медь, 10 <sup>4</sup> тонн	264,1	-	308,2	354,4	393,4	384,8	514,3
У добрения, 10 <sup>4</sup> тонн	106,3	134,7	140,8	148,2	29,2	19,6	97,4
Цемент, 10 <sup>4</sup> тонн	9204,2	9803,6	9438	9513	9625,1	9769,7	10130,7
Сталь, 10 <sup>4</sup> тонн	2463,8	2611,1	2577,6	2585	2795,7	3093,9	3480,9

Бассейн озера Поян богат полезными ископаемыми. Среди них редкоземельные и редкометалльные полезные ископаемые в основном распространены в верховьях бассейна реки Ганьцзян, а вольфрам и связанные с ним руды в рудах цветных металлов, а также уголь также в основном распространены в верховьях бассейна реки Ганьцзян. Город Ганьчжоу (и прилегающие территории), расположенный в провинции Цзянси, является одной из ключевых центров добычи и переработки цветных металлов в Китае. К концу 2012 года было обнаружено более 60 видов полезных ископаемых. Для промышленности Китая и других стран поставляется продукция, содержащая: вольфрам, олово, молибден, висмут, медь, свинец, цинк, сурьма, никель, кобальт, ниобий, тантал, редкоземельные элементы, литий, бериллий, цирконий, гафний, цезий, скандий, золото, серебро, платина, палладий, железо, марганец, титан, ванадий, уран, торий, а также: соль, флюорит, тальк, тремолит, кремнезем, каолин, глина, фарфоровая глина, бентонит, вода, графит, асбест, гипс, глауберова соль, барит, слюда, исландский камень, калиевый полевой шпат, сера, фосфор, мышьяк, йод, мрамор, известняк, доломит, уголь, торф, горючие сланцы, нефть и др. Особо следует отметить, что Ганьчжоу богат вольфрамовой рудой и редкоземельными элементами, и добыча вольфрама ведется в течение 100 лет.

Город Ичунь (и прилегающие территории) в бассейне реки Ганьцзян также очень богат минеральными ресурсами. В основном это: цветные металлы (включая драгоценные металлы), редкие элементы, черные металлы, глинистые минералы для производства фарфора, строительные материалы и вспомогательная продукция для металлургии. Здесь расположена шахта Yichun 414, где добывается литий, тантал, ниобий, рубидий, цезий и другие элементы (рис. 3.4.5). Провинция Цзянси является второй в Китае по производству керамической плитки. В

настоящее время в провинции Цзянси насчитывается 96 производителей строительной керамики и 319 линий по производству строительной керамики, причем в городе Ичунь насчитывается 64 предприятия по производству керамики (66,7 % от производства в провинции Цзянси).

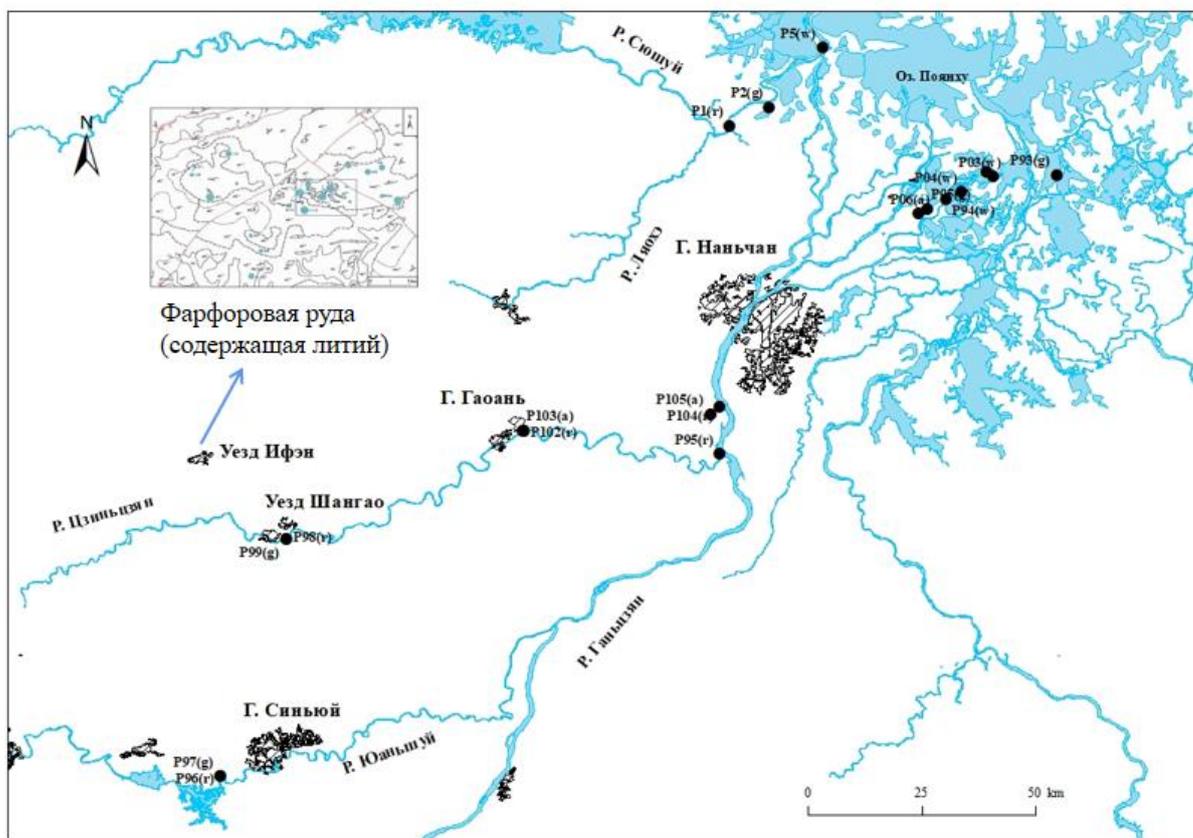


Рисунок 3.4.5 – Схема размещения пунктов опробования и месторождений некоторых полезных ископаемых [Zeng Xiajian et al., 2022]

Город Наньчан, расположенный в низовьях реки Ганьцзян, является столицей провинции Цзянси и крупным промышленным центром. В нем расположены предприятия автомобильной, легкой и пищевой промышленности, электроники.

В провинции Цзянси весьма интенсивно развивается и сельское хозяйство, включая растениеводство (рис, овощи и другие сельскохозяйственные культуры; рис. 3.4.6) и животноводство.

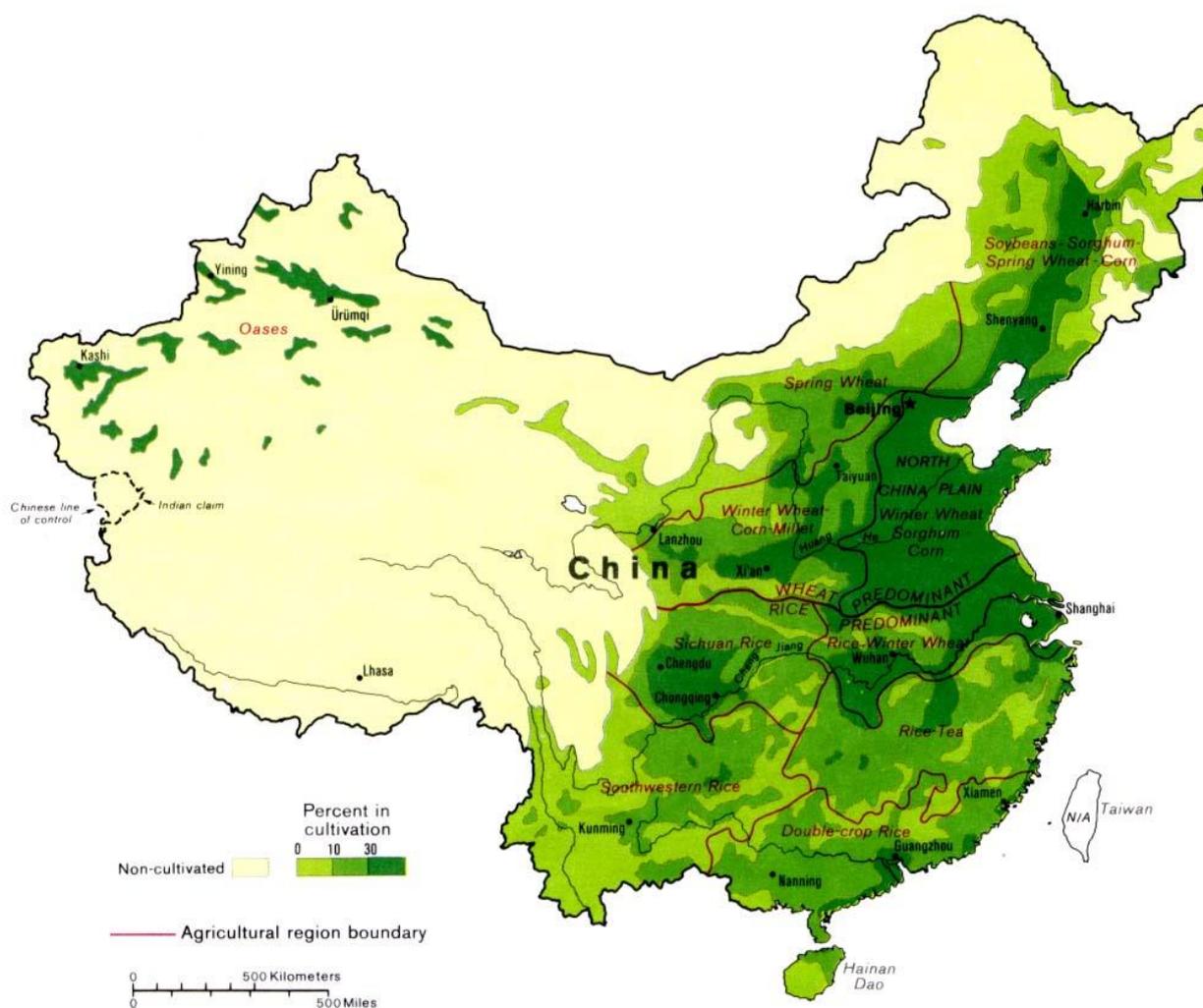


Рисунок 3.4.6 – Карта сельскохозяйственного освоения территории КНР (ссылка «[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/China\\_agricultural\\_1986.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/China_agricultural_1986.jpg)» по состоянию на 28.03.2023)

Площадь пахотных земель провинции составляет около 29273 км<sup>2</sup>. Основная сельскохозяйственная культура – рис, причем по урожаю этой культуры провинция Цзяньси занимает третье место в Китае. Рис выращивается в основном в уездах Синьцзянь (поселение Поян) и Шангао (рис. 3.4.7) в г. Ичунь, а также ряде других территорий. Выращиваются также такие культуры как пшеница, соя, арахис, кунжут, хлопок и т.д. Согласно Национальному статистическому бюллетеню экономического и социального развития провинции Цзяньси за 2021 год, общая стоимость продукции сельского, лесного, животноводческого и рыбного хозяйства провинции за весь год составила 399,81 млрд. юаней. Площадь зерновых культур составляет 37,7 км<sup>2</sup>, из них 5,045 км<sup>2</sup> посевов рапса. Площадь овощных посадок составляет 6,863 км<sup>2</sup>. Площадь посевов хлопчатника составляет 0,11 км<sup>2</sup>. Площадь посевов сахарного тростника составляет 0,134 км<sup>2</sup>. Годовой объем производства зерна в провинции составил 21,923 миллиона тонн. При выращивании риса или другой сельскохозяйственной продукции используются пестициды и

химические удобрения, чрезмерное использование которых наносит экологический ущерб почве и грунтовым водам.



Рисунок 3.4.7 – Рисовые поля на берегу реки Цзиньцзян в уезде Шангао

Всё это, включая забор воды для хозяйственно-питьевых и производственных нужд и водоотведение, оказывает существенное влияние на состояние поверхностных и грунтовых вод региона [China: Jiangxi..., 2021; Yan, Xing, Tan, Deng, Tan, 2011; Bureau of Statistics of Jiangxi Province, 2013-2021]. Сведения об использовании водных ресурсов в провинции Цзяньси за 2015-2020 гг. приведены в табл. 3.4.2. Весьма существенно и загрязнение атмосферного воздуха (рис. 3.4.7).

Таблица 3.4.2 – Показатели использования водных ресурсов в провинции Цзяньси за 2015-2020 гг.

Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Общее водопотребление, $10^8 \text{ м}^3$	245,81	245,36	248,01	250,81	253,34	244,12
Сельскохозяйственное водопотребление, %	59,1	59,3	59,5	60,8	61,3	66,3
Промышленное водопотребление, %	25,1	24,7	24,4	23,4	23,4	20,6
Городское коммунальное водопотребление, %	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,8
Бытовое водопотребление, %	8,8	9,1	9,1	9	8,9	9
Экологическая среда Водопотребление, %	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,3
Лесное хозяйство, животноводство и рыболовство, %	3,6	3,5	3,5	3,3	2,9	-

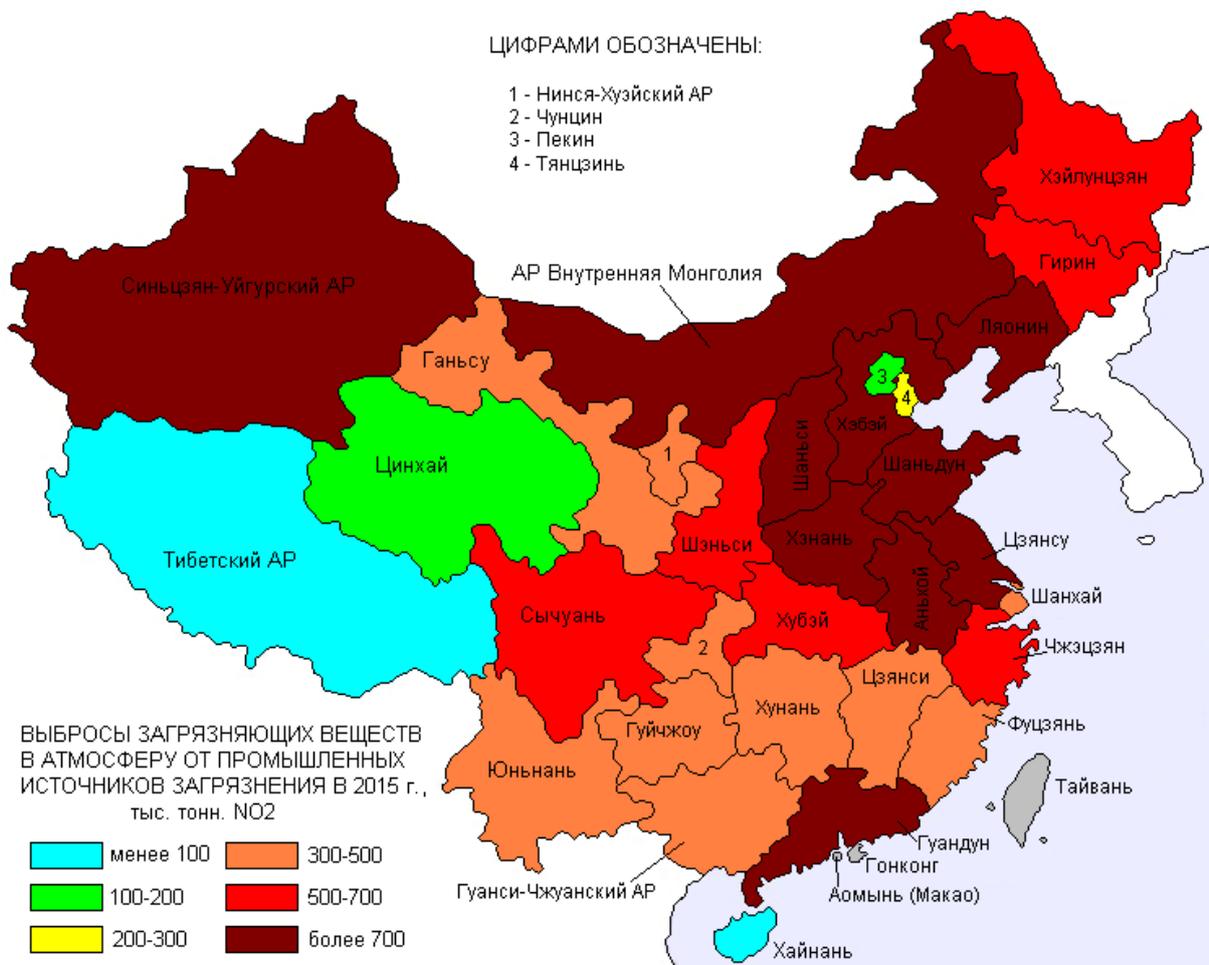


Рисунок 3.4.7 – Карта распределения по провинциям КНР выбросов диоксида азота в атмосферный воздух (ссылка

«[https://aftershock.news/sites/default/files/u14613/%D0%A0%D0%B8%D1%81%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA%2004\\_9.PNG](https://aftershock.news/sites/default/files/u14613/%D0%A0%D0%B8%D1%81%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA%2004_9.PNG)» по состоянию на 28.03.2023)

Общая картина распространения по территории КНР ландшафтов с разной степенью антропогенной нагрузки приведена рис. 3.4.8. Общее состояние окружающей среды в провинции Цзянси (номер 36 на рис. 3.4.8), несмотря на мощный агропромышленный комплекс, в целом благоприятно, но требует постоянных усилий по проведению природоохранных мероприятий и мониторинга окружающей среды.

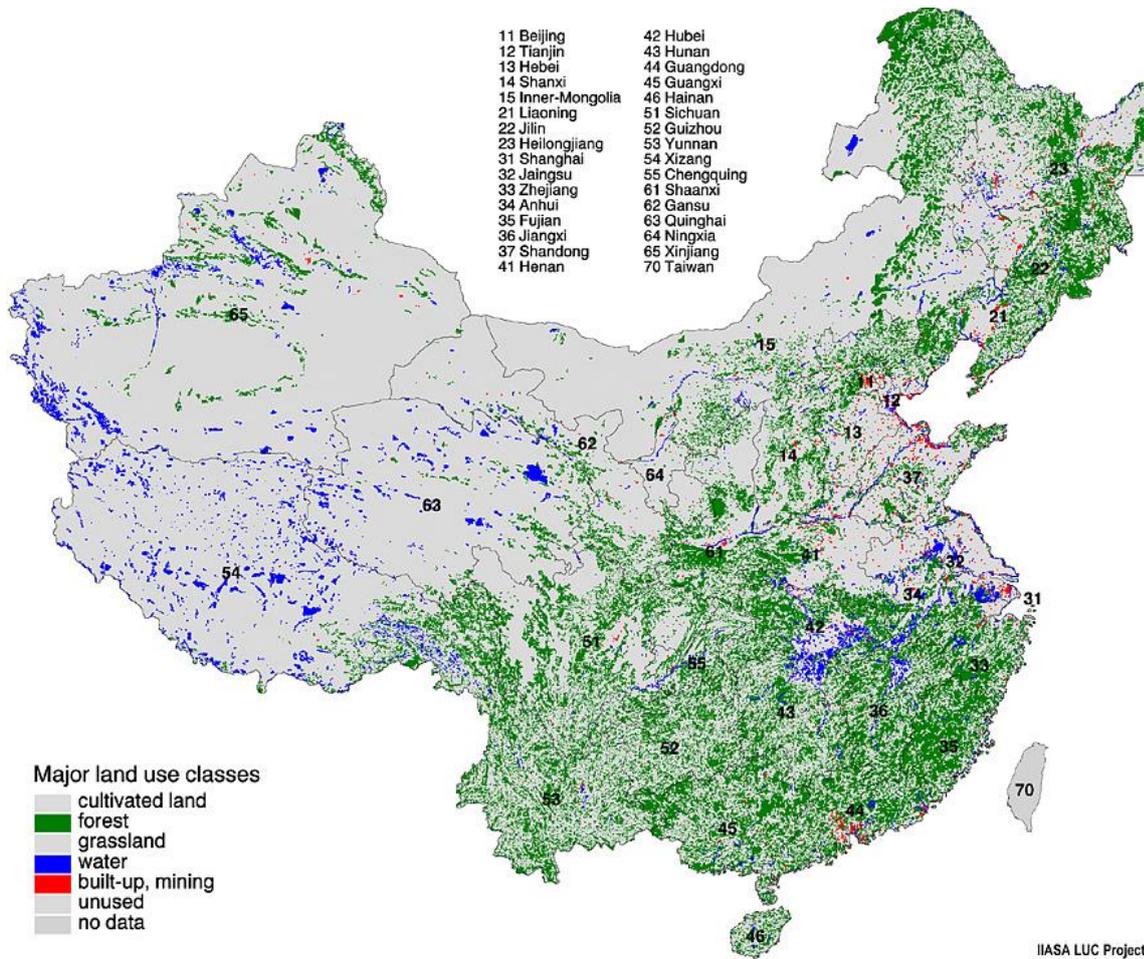


Рисунок 3.4.8 – Схема распространения ландшафтов на территории КНР (ссылка «<https://druzhniy-center.ru/wp-content/uploads/9/d/d/9dd119987ec44f39497ceb5c34a74044.jpeg>» по состоянию на 28.03.2023)

По имеющимся данным мониторинга водных объектов в 2021 г. в 93,6 % случаях отмечено, согласно требованиям к качеству воды в КНР, отмечено хорошее качество воды. Качество воды централизованных источников питьевой воды в городах во всех случаях соответствует установленным требованиям [Bureau of Statistics of Jiangxi Province, 2020].

## 4. Эколого-геохимическое состояние грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян и условия их самоочищения

### 4.1. Общая оценка эколого-геохимического состояния грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян

Основной упор при оценке современного состояния грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян был сделан на анализ данных, полученных в 2019 г. [Soldatova et al., 2022] и 2022 г. с использованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Результаты этих исследований приведены в табл. 4.1.1, 4.1.2, но оценка фоновых концентраций была проведена по всему массиву данных, полученных в процессе российско-китайских гидрогеохимических исследований в 2013–2022 гг.

Таблица 4.1.1 – Химический состав поверхностных, грунтовых и сточных вод в 2019 г. [Soldatova et al., 2022] (значения  $\sum_{1-2} \frac{C}{C_{lim}}$  вычислены по формуле (2.3))

Показатель	Номера пунктов опробования в 2019 г. в (табл. 2.1)								
	P104	P95	P102	P100	P101	P98	P99	P96	P97
pH	6,95	6,98	6,99	6,93	7,55	6,96	6,22	7,25	7,10
мг/дм <sup>3</sup>									
CO <sub>2</sub>	3,5	7,0	3,5	7,0	3,5	3,5	18,5	3,5	5,3
ПО	1,30	2,48	1,14	2,22	2,80	1,30	0,08	1,92	0,27
C <sub>орг</sub>	0,50	1,17	1,27	2,29	6,80	1,04	0,50	1,45	0,50
Σ <sub>mi</sub>	117,9	180,8	180,3	234,1	951,7	176,8	178,1	180,5	431,4
Ca <sup>2+</sup>	16,9	26,1	27,6	28,2	89,1	24,4	14,0	29,3	63,9
Mg <sup>2+</sup>	4,0	3,6	3,4	3,8	9,2	3,2	4,6	3,9	16,3
Na <sup>+</sup>	8,4	14,9	14,3	24,1	175,8	19,8	9,7	7,9	11,7
K <sup>+</sup>	2,3	2,8	2,9	9,0	23,2	2,5	28,8	2,3	16,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	59,0	92,0	93,0	69,0	132,0	87,0	34,0	110,0	231,0
Cl <sup>-</sup>	13,5	15,4	14,0	33,0	200,0	10,8	10,0	8,6	45,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13,6	25,8	25,0	23,0	320,0	29,0	42,0	18,4	25,9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,05	0,05	0,05	44,00	2,35	0,05	35,00	0,05	21,60
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,01	0,01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,03	0,08	0,03	0,063	0,47	0,03	0,03	0,03	0,03
P	<0,02	0,05	0,05	0,51	0,15	0,03	<0,02	<0,02	0,06

Продолжение таблицы 4.1.1

Si	5,75	4,81	5,69	4,63	3,55	5,11	3,00	3,91	8,18
Fe	0,224	0,131	0,039	0,043	0,175	0,062	0,016	0,025	0,096
мкг/дм <sup>3</sup>									
Li	13,65	20,22	48,95	9,07	88,62	39,77	0,45	33,86	1,07
Al	34,06	37,95	11,32	7,06	167,09	16,35	7,14	5,09	3,63
V	0,63	1,40	1,34	0,84	80,20	1,05	0,13	1,42	3,13
Cu	1,18	1,12	0,71	0,43	4,12	0,95	0,51	0,48	0,91
Zn	0,68	0,43	0,49	3,87	14,23	0,87	3,96	0,05	13,57
As	1,73	2,21	1,82	1,69	89,40	1,66	0,10	2,08	0,77
Mo	1,03	0,67	1,17	0,46	250,24	0,26	0,01	1,48	0,73
Cd	0,037	0,022	0,001	0,003	0,176	0,019	0,071	0,004	0,042
Sb	0,18	0,28	0,39	0,28	32,56	0,22	0,05	0,18	0,20
W	0,35	1,05	11,44	0,07	3060,60	0,15	0,02	0,13	0,05
Pb	0,74	0,56	0,09	0,07	0,38	0,25	1,35	0,04	0,51
La	0,892	0,444	0,053	0,010	0,131	0,094	0,963	0,026	0,137
Ce	1,941	1,106	0,119	0,020	0,179	0,225	0,033	0,051	0,025
U	0,258	0,509	0,378	0,006	1,172	0,352	0,004	0,887	1,023
Показатели загрязненности вод в относительных единицах									
РФ: $\sum_{1-2} \frac{C}{C_{lim}}$	1,5	2,6	3,2	1,3	226,1	3,9	1,6	1,8	1,5
КНР: $\sum_{(1-2)} \frac{C}{C_{lim}}$	0,7	0,8	0,7	0,6	91,6	0,7	1,5	0,5	0,8

Примечание: при расчете величины  $\sum_{1-2} \frac{C}{C_{lim}}$  по нормативам РФ использованы следующие вещества: Na, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Li, Co, Ni, As, Se, Br, Sr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sb, Te, I, Ba, W, Hg, Tl, Pb, Bi, U; в нормативах качества КНР классы опасности не установлены, а расчет проводился для веществ: Na, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Ni, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb; ПО (перманганатная окисляемость) и C<sub>орг.</sub> (общее содержание углерода органических веществ)

Таблица 4.1.2 – Химический состав поверхностных, грунтовых и сточных вод в 2022 г.

Показатель	Номера пунктов опробования в 2022 г. в (табл. 2.1)								
	99p	p01	P05	100p	101p	104p	98p	102p	95p
pH	6,44	5,95	6,86	7,36	7,63	6,94	7,22	7,26	7,24
мг/дм <sup>3</sup>									
$\Sigma_{mi}$	159,7	71,4	81,7	228,9	652,6	150,1	165,8	215,6	181,0
Ca <sup>2+</sup>	14,9	9,5	3,7	27,4	41,8	34,5	19,4	31,1	26,2
Mg <sup>2+</sup>	3,3	3,2	1,7	2,5	2,8	3,1	2,2	3,4	3,2
Na <sup>+</sup>	8,5	6,6	11,9	26,2	131,0	4,9	18,1	18,4	12,6
K <sup>+</sup>	24,0	25,5	0,6	7,4	14,0	13,2	2,8	3,3	2,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	44,0	39,0	61,0	88,0	106,0	54,0	61,0	93,0	90,0
Cl <sup>-</sup>	13,2	21,8	1,2	50,9	217,0	36,7	15,3	27,4	19,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	51,9	26,6	1,6	26,5	140,0	3,7	47,1	39,1	26,3
P	0,01	0,01	0,03	0,23	0,19	0,04	0,03	0,09	0,04
Si	2,93	5,37	14,00	3,72	3,08	9,08	4,95	4,15	3,82
Fe	0,07	0,05	0,03	0,06	0,06	1,26	0,07	0,22	0,48
мкг/дм <sup>3</sup>									
Li	0,20	1,31	3,47	20,52	54,52	3,75	57,48	52,68	27,23
Al	7,44	21,07	5,11	159,98	12,06	330,9	17,72	133,0	201,0
V	0,04	0,22	0,23	1,20	111,47	1,79	0,91	1,84	1,70
Cu	2,89	0,56	0,13	0,47	4,42	1,81	0,88	1,15	1,05
Zn	23,64	14,51	23,20	3,83	8,43	8,17	1,29	4,98	2,66
As	0,13	0,07	0,16	0,99	29,94	2,07	1,50	1,72	2,02
Mo	0,01	0,12	0,08	0,60	179,94	0,40	0,38	1,48	0,81
Cd	0,027	0,089	0,024	0,001	0,240	0,114	0,019	0,012	0,045
Sb	0,00	0,02	0,02	0,17	9,41	0,07	0,60	0,31	0,18
W	0,01	0,09	0,01	0,06	150,93	0,31	0,09	1,03	0,22
Pb	0,30	0,23	0,07	0,11	0,12	3,08	0,55	0,59	0,95
La	1,581	0,433	0,033	0,130	0,008	2,986	0,045	0,244	0,679
Ce	<,001	0,370	0,049	0,107	0,013	6,234	0,116	0,568	1,783
U	<,001	0,005	0,042	0,001	0,035	0,596	0,239	0,454	0,422

При этом анализ данных предусматривал: 1) исключение экстремальных значений по условию (4.1.1) с последующим пересчетом статистических параметров (по измененной выборке) согласно [РД 52.24.622-2019]; 2) проверку на симметричность по условию (4.1.2)

[Международное руководство..., 1984], а для суммы главных ионов  $\Sigma_{mi}$  – дополнительно проверку на соответствие эмпирической и теоретической кривых распределения вероятностей по критерию Колмогорова – Смирнова (4.1.3) [Международное руководство..., 1984]; 3) расчёт фоновых концентраций по уравнению (2.1):

$$I' = \frac{C_{max} - C_a}{\sigma} > I_n; I'' = \frac{C_a - C_{min}}{\sigma} > I_n, \quad (4.1.1)$$

$$-\Psi \leq M_3 \leq \Psi, \quad (4.1.2)$$

$$\max|P_э - P_T| \cdot \sqrt{N} < K_{KS,5\%}, \quad (4.1.3)$$

где  $C_a$ ,  $C_{max}$ ,  $C_{min}$  – средние арифметические, максимальные и минимальные концентрации;  $N$  – объем выборки;  $\sigma$  – среднеквадратические отклонения;  $I_n$  – нормативное значение, определяемое в зависимости от объема выборки согласно [РД 52.24.622-2019];  $M_3 = \frac{\Sigma(C_i - C_a)^3}{N}$ ;  $\Psi = 1,96 \cdot \sigma^3 \cdot \sqrt{\frac{6}{N}}$ ;  $P_э$  и  $P_T$  – эмпирическая и теоретическая обеспеченности; в рассматриваемом случае проверялась гипотеза о логнормальном распределении;  $K_{KS,5\%}$  – критическое значение критерия Колмогорова-Смирнова при уровне значимости 5%.

Значения удаляются из расчета фона, если соблюдается хотя бы одна часть условия (4.1.1), но участвуют при оценке качества воды по критериям (2.2, 2.3). Симметричность выборки в ряде случаев определяется в рамках ориентировочной оценки соответствия эмпирических обеспеченностей (вероятностей) нормальному закону распределения, когда величина  $M_3 = \frac{\Sigma(C_i - C_a)^3}{N}$  не превышает по модулю величину [Международное..., 1984]. В данном случае оценивалась выборка из натуральных логарифмов концентраций с целью проверки на соответствие исходной выборки логнормальному закону распределения вероятностей. Для более точной оценки распределения вероятностей суммы главных ионов (как ключевого показателя) был использован критерий Колмогорова-Смирнова также для выборки из натуральных логарифмов величины  $\Sigma_{mi}$ . В случае выполнения условия (4.1.3) гипотеза о согласии эмпирической и логнормальной кривых обеспеченностей с уровнем значимости 5% не отвергается.

В результате расчетов был исключен ряд экстремальных значений (преимущественно высоких) и показано, что в подавляющем количестве случаев распределение вероятностей натуральных логарифмов геохимических показателей грунтовых и речных вод симметрично (табл. 4.1.3, 4.1.4), что указывает на возможность использования логнормального закона. Это предположение в целом подтверждено и при проверке выборки значений суммы главных ионов по критерию Колмогорова – Смирнова (рис. 4.1.1, 4.1.2).

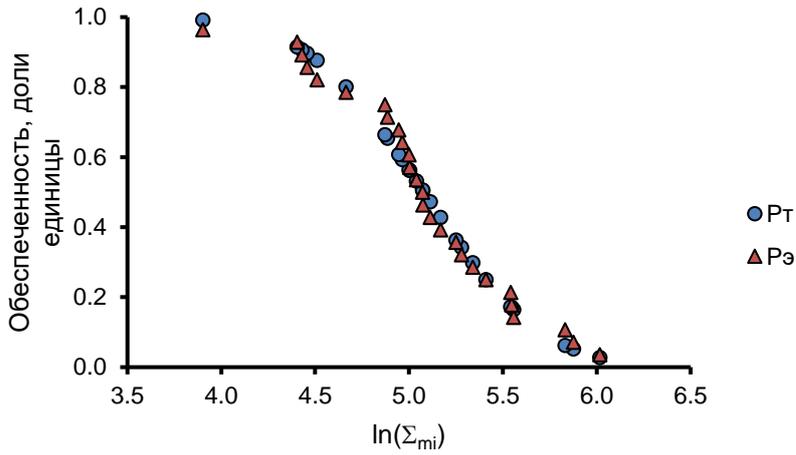


Рисунок 4.1.1 – Распределение эмпирических ( $P_{э}$ ) и логнормальных ( $P_t$ ) обеспеченностей натуральных логарифмов суммы главных ионов в грунтовых водах в водосборе озера Поян; соотношение фактического и критического значений критерия Колмогорова-Смирнова 0,32

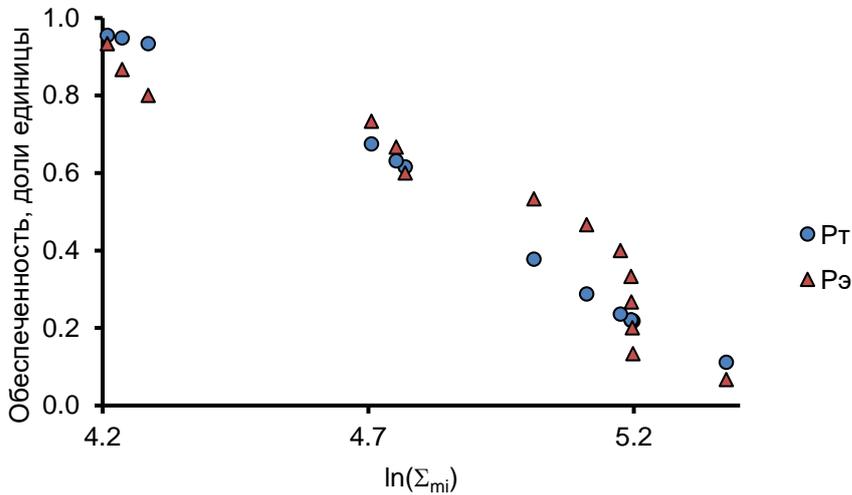


Рисунок 4.1.2 – Распределение эмпирических ( $P_{э}$ ) и логнормальных ( $P_t$ ) обеспеченностей натуральных логарифмов суммы главных ионов в речных водах в водосборе озера Поян; соотношение фактического и критического значений критерия Колмогорова-Смирнова 0,49

Таблица 4.1.3 – Результаты расчета фоновых значений геохимических показателей  $C_b$  грунтовых вод в водосборе озера Поян по уравнению (2.1)

Показатель	Ед. изм.	$C_a$	$\delta_a$	$\sigma$	$N$	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$I'$	$I''$	$I_n$	$M_3$	$\Psi$	$\sigma_{\ln C}$	$C_g$	$C_b$
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	179,7	16,9	87,7	27	49,5	409,8	2,62	1,49	2,66	-0,02	0,11	0,5	160,6	213,3
$Ca^{2+}$	то же	19,3	2,0	10,7	28	2,2	47,5	2,63	1,60	2,67	-0,35	0,29	0,7	16,1	23,8
$Mg^{2+}$	--	5,7	0,5	2,8	28	1,2	11,3	1,95	1,60	2,67	-0,13	0,18	0,6	5,0	6,9
$Na^+$	--	13,7	1,3	7,1	28	3,7	29,9	2,28	1,40	2,67	-0,04	0,14	0,5	12,0	16,2
$K^+$	--	7,6	1,7	8,8	28	0,6	28,8	2,40	0,79	2,67	0,52	1,70	1,2	3,8	7,5
$HCO_3^-$	--	77,5	8,6	44,7	27	18,3	170,8	2,09	1,32	2,66	-0,02	0,21	0,6	65,3	92,9
$Cl^-$	--	20,2	3,2	17,3	29	1,2	58,9	2,24	1,10	2,68	-0,90	1,36	1,2	12,4	23,6
$SO_4^{2-}$	--	16,9	2,9	15,1	27	0,7	51,9	2,32	1,07	2,66	-1,49	2,64	1,4	8,6	19,5
$NO_3^-$	--	16,207	3,597	17,622	24	0,150	62,300	2,62	0,91	2,62	-3,12	9,93	2,164	4,216	15,868
$NO_2^-$	--	0,010	-	-	17	0,010	0,010	-	-	2,56	-	-	0,000	0,010	0,010
$NH_4^+$	--	0,840	0,241	1,181	24	0,025	3,400	2,17	0,69	2,62	3,08	9,02	2,095	0,161	0,580
$PO_4^{3-}$	--	0,080	0,015	0,073	23	0,025	0,230	2,06	0,76	2,61	0,31	0,72	0,896	0,054	0,095
P (MS ICP)	--	0,005	0,002	0,003	4	0,000	0,008	0,78	1,46	1,46	-2,14	6,96	1,426	0,004	0,030
Si	--	8,85	0,90	4,75	28	2,93	20,60	2,48	1,25	2,67	-0,02	0,15	0,55	7,69	10,51
$F^-$	--	0,13	0,03	0,10	14	0,02	0,33	1,94	1,05	2,37	-0,03	0,83	0,86	0,09	0,18
Fe	--	0,071	0,013	0,057	20	0,011	0,210	2,44	1,05	2,56	-0,01	0,59	0,817	0,052	0,091
Li	мкг/ дм <sup>3</sup>	0,65	0,23	0,52	5	0,18	1,31	1,29	0,89	1,67	0,03	1,65	0,92	0,47	1,61
Al	то же	5,5	0,8	1,8	5	3,6	7,4	1,12	1,05	1,67	0,00	0,07	0,3	5,2	8,1

Sc	--	0,33	0,09	0,23	6	0,14	0,74	1,80	0,83	1,82	0,09	0,48	0,63	0,28	0,60
Ti	--	0,25	0,09	0,20	5	0,00	0,56	1,57	1,21	1,67	0,07	0,27	0,48	0,28	0,57
V	--	0,16	0,03	0,08	5	0,04	0,23	0,91	1,56	1,67	-0,39	0,96	0,76	0,13	0,37
Cr	--	1,01	0,12	0,29	6	0,65	1,41	1,38	1,26	1,82	0,00	0,05	0,29	0,98	1,40
Mn	--	49,9	26,1	63,9	6	5,4	151,0	1,58	0,70	1,82	1,16	6,96	1,5	20,2	131,1
Co	--	0,07	0,02	0,05	5	0,04	0,15	1,59	0,72	1,67	0,10	0,50	0,61	0,06	0,14
Ni	--	1,03	0,21	0,47	5	0,43	1,60	1,22	1,29	1,67	-0,05	0,30	0,52	0,94	1,88
Cu	--	1,17	0,19	0,85	20	0,10	3,30	2,49	1,26	2,56	-0,61	0,82	0,91	0,86	1,59
Zn	--	8,71	1,52	7,12	22	0,25	24,00	2,15	1,19	2,59	-1,42	1,36	1,10	5,78	11,66
Ga	--	0,017	0,004	0,010	6	0,003	0,033	1,55	1,30	1,82	-0,32	1,00	0,799	0,014	0,036
Ge	--	0,014	0,004	0,009	6	0,006	0,030	1,76	0,78	1,82	0,09	0,53	0,646	0,011	0,025
As	--	0,147	0,035	0,078	5	0,069	0,272	1,61	1,00	1,67	0,02	0,28	0,509	0,132	0,262
Se	--	0,555	0,225	0,551	6	0,050	1,440	1,61	0,92	1,82	-0,26	4,88	1,356	0,299	1,571
Br	--	26,78	5,13	11,46	5	10,06	37,82	0,96	1,46	1,82	-0,11	0,35	0,55	24,21	50,37
Rb	--	12,68	4,84	11,85	6	0,38	28,31	1,32	1,04	1,82	-2,94	7,70	1,58	6,62	45,75
Sr	--	46,67	10,48	23,43	5	18,62	83,81	1,59	1,20	1,67	-0,04	0,33	0,53	41,93	85,93
Y	--	0,563	0,239	0,586	6	0,063	1,517	1,63	0,85	1,82	-0,03	3,63	1,228	0,323	1,455
Zr	--	0,003	0,001	0,002	6	0,000	0,006	1,41	1,47	1,82	0,03	0,15	0,416	0,003	0,006
Nb	--	0,003	0,000	0,001	6	0,002	0,005	1,30	1,06	1,82	0,01	0,10	0,367	0,003	0,005
Mo	--	0,051	0,021	0,047	5	0,010	0,120	1,45	0,88	1,67	-0,09	3,24	1,147	0,033	0,152
Ru	--	0,002	0,000	0,001	5	0,001	0,003	0,45	1,79	1,67	-0,13	0,27	0,499	0,002	0,004

Rh	--	0,001	0,000	0,001	5	0,001	0,002	1,43	1,32	1,67	-0,07	0,31	0,527	0,001	0,002
Pd	--	0,003	0,001	0,001	6	0,000	0,005	1,44	1,61	1,82	-0,63	1,15	0,836	0,002	0,006
Ag	--	0,005	0,002	0,004	3	0,003	0,009	1,15	0,58	1,15	0,15	1,09	0,732	0,004	0,014
Cd	--	0,001	-	-	16	0,001	0,001	-	-	2,44	-	-	0,000	0,001	0,001
In	--	0,001	0,000	0,001	6	0,001	0,002	1,72	0,61	1,82	0,23	0,73	0,720	0,001	0,002
Sn	--	0,082	0,048	0,116	6	0,003	0,239	1,34	0,68	1,82	2,89	13,6	1,908	0,021	0,218
Sb	--	0,024	0,008	0,018	5	0,002	0,050	1,45	1,20	1,67	-1,04	3,32	1,156	0,016	0,077
Te	--	0,005	0,001	0,003	5	0,003	0,008	1,23	0,73	1,67	0,08	0,57	0,642	0,004	0,009
I	--	5,94	1,71	3,42	4	1,36	9,58	1,06	1,34	1,46	-0,41	1,56	0,87	4,80	17,62
Cs	--	0,19	0,07	0,17	6	0,03	0,36	0,95	0,95	1,82	-0,04	3,95	1,26	0,11	0,53
Ba	--	75,0	19,1	46,9	6	20,6	152,4	1,65	1,16	1,82	-0,09	0,68	0,7	62,3	147,1
Lu	--	0,002	0,001	0,002	6	0,000	0,005	1,46	0,98	1,82	-0,23	2,82	1,129	0,001	0,005
Hf	--	0,000	0,000	0,000	6	0,000	0,000	-	-	1,82	-	-	0,000	0,000	0,000
Ta	--	0,005	0,000	0,000	5	0,005	0,005	-	-	1,82	-	-	0,000	0,005	0,005
W	--	0,030	0,014	0,034	6	0,005	0,091	1,79	0,74	1,82	0,38	3,52	1,215	0,017	0,074
Re	--	0,007	0,002	0,006	6	0,001	0,017	1,78	1,00	1,82	-0,98	4,18	1,287	0,004	0,019
Ir	--	0,002	0,000	0,001	6	0,001	0,003	0,64	1,46	1,82	-0,13	0,42	0,598	0,002	0,004
Pt	--	0,003	0,000	0,000	6	0,003	0,003	-	-	1,82	-	-	0,000	0,003	0,003
Au	--	0,003	0,001	0,001	6	0,003	0,006	1,82	0,59	1,82	0,04	0,11	0,380	0,003	0,005
Hg	--	0,019	0,004	0,008	5	0,008	0,025	0,71	1,41	1,67	-0,07	0,26	0,498	0,018	0,035
Tl	--	0,044	0,015	0,036	6	0,008	0,094	1,39	1,00	1,82	-0,08	1,56	0,926	0,032	0,099

Продолжение таблицы 4.1.3

Pb	--	0,64	0,10	0,47	20	0,03	1,80	2,48	1,32	2,56	-1,26	1,23	1,05	0,45	0,90
Bi	--	0,002	0,000	0,000	3	0,002	0,002	1,15	0,58	1,15	0,00	0,00	0,051	0,002	0,002
La	--	0,607	0,236	0,578	6	0,033	1,581	1,69	0,99	1,82	-1,39	5,45	1,406	0,338	1,890
Ce	--	0,159	0,085	0,208	6	0,000	0,475	1,52	0,76	1,82	-14,90	39,5	2,720	0,035	0,976
Pr	--	0,124	0,052	0,126	6	0,008	0,324	1,58	0,92	1,82	-0,87	5,24	1,388	0,067	0,368
Nd	--	0,471	0,208	0,509	6	0,014	1,321	1,67	0,90	1,82	-2,04	8,74	1,646	0,217	1,626
Sm	--	0,088	0,039	0,095	6	0,000	0,220	1,38	0,92	1,82	-14,22	30,4	2,494	0,027	0,573
Eu	--	0,032	0,009	0,022	6	0,004	0,060	1,30	1,32	1,82	-0,81	2,16	1,033	0,023	0,083
Gd	--	0,100	0,046	0,113	6	0,000	0,291	1,68	0,88	1,82	-15,34	32,1	2,539	0,030	0,674
Tb	--	0,012	0,006	0,014	6	0,001	0,036	1,73	0,85	1,82	-1,08	7,85	1,588	0,006	0,039
Dy	--	0,067	0,031	0,076	6	0,000	0,194	1,67	0,87	1,82	-10,97	28,4	2,437	0,020	0,390
Ho	--	0,011	0,004	0,010	6	0,000	0,026	1,58	1,08	1,82	-3,93	8,93	1,658	0,005	0,041
Er	--	0,027	0,012	0,028	6	0,000	0,070	1,51	0,96	1,82	-7,37	16,4	2,031	0,011	0,134
Tm	--	0,004	0,002	0,004	6	0,001	0,012	1,80	0,73	1,82	0,31	1,87	0,985	0,003	0,009
Yb	--	0,023	0,009	0,022	6	<,001	0,059	1,64	1,06	1,82	-7,61	14,5	1,949	0,011	0,116
Th	--	0,003	-	-	5	0,003	0,003	-	-	1,67	-	-	-	0,003	0,003
U	--	0,017	0,008	0,019	5	0,002	0,042	1,35	0,81	1,67	0,37	5,12	1,336	0,009	0,054
ПО	мгО/ дм <sup>3</sup>	1,51	0,62	1,74	8	0,08	4,62	1,78	0,82	2,03	-0,38	4,06	1,34	0,78	3,20
БО	мгО/ дм <sup>3</sup>	1,76	0,28	1,26	20	0,11	4,50	2,17	1,31	2,56	-0,63	0,80	0,91	1,30	2,38
С <sub>орг.</sub>	мгС/ дм <sup>3</sup>	0,95	0,10	0,50	24	0,34	2,00	2,09	1,20	2,62	0,02	0,14	0,52	0,83	1,14

Примечание:  $C_a$  и  $C_g$  – средние арифметические и геометрические значения;  $\delta_a \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$  – погрешность определения среднего арифметического;  $\sigma$  и  $\sigma_{\ln C}$  – средние квадратические отклонения исходной выборки  $C$  и натуральных логарифмов концентрации  $C$ ;  $N$  – объем выборки после исключения экстремальных значений по условию (4.1.1);  $I'$ ,  $I''$ ,  $I_n$  – фактические и нормативные значения в условии (4.1.1) после исключения экстремумов;  $M_3$  и  $\Psi$  – центральный момент третьего порядка и граничное значение условия (4.1.2);  $C_b$  – фоновая концентрация по уравнению (2.1) принятая как верхний предел оценки среднего геометрического с учётом гипотезы о логнормальном распределении вероятностей геохимических показателей; прочерк означает, что оставшиеся после проверки на экстремумы концентрации были на уровне порога обнаружения  $C_{\text{по}}$  (согласно [Требования..., 2001] значения в виде « $C < C_{\text{по}}$ » использовались в расчете как  $C = C_{\text{по}}/2$ );  $\Sigma_{mi}$  – сумма главных ионов; ПО – перманганатная окисляемость; БО – бихроматная окисляемость;  $C_{\text{орг}}$  – углерод органических соединений

Таблица 4.1.4 – Результаты расчета фоновых значений геохимических показателей  $C_b$  речных вод в водосборе озера Поян по уравнению (2.1)

Показатель	Ед. изм.	$C_a$	$\delta_a$	$\sigma$	$N$	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$I'$	$I''$	$I_n$	$M_3$	$\Psi$	$\sigma_{\ln C}$	$C_g$	$C_b$
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	141,7	13,1	49,0	14	67,3	215,6	1,51	1,52	2,37	-0,04	0,08	0,4	132,5	182,6
$\text{Ca}^{2+}$	то же	21,5	2,1	8,0	14	10,0	34,5	1,62	1,43	2,37	-0,03	0,09	0,4	20,0	27,8
$\text{Mg}^{2+}$	–/–	3,0	0,2	0,7	14	1,6	4,0	1,38	1,96	2,37	-0,02	0,03	0,3	2,9	3,6
$\text{Na}^+$	–/–	11,0	1,4	5,4	14	4,6	19,8	1,62	1,20	2,37	-0,02	0,19	0,5	9,8	14,9
$\text{K}^+$	–/–	2,4	0,2	0,6	13	1,3	3,3	1,36	1,78	2,33	-0,02	0,04	0,3	2,3	3,0
$\text{HCO}_3^-$	–/–	66,2	7,2	26,9	14	32,3	110,0	1,62	1,26	2,37	-0,01	0,11	0,4	60,9	86,3
$\text{Cl}^-$	–/–	13,1	1,7	6,3	13	4,5	27,4	2,27	1,37	2,33	-0,04	0,18	0,5	11,7	18,0
$\text{SO}_4^{2-}$	–/–	20,6	3,3	12,3	14	3,7	47,1	2,16	1,38	2,37	-0,17	0,41	0,7	17,1	29,6

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	--/	1,810	0,739	2,337	10	0,050	6,330	1,93	0,75	2,18	0,90	16,4	2,210	0,393	3,200
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	--/	0,010	0,000	0,000	8	0,010	0,010	-	-	2,03	-	-	0,000	0,010	0,010
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	--/	0,130	0,042	0,125	9	0,025	0,360	1,84	0,84	2,11	0,13	2,41	1,147	0,077	0,243
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	--/	0,082	0,015	0,049	10	0,025	0,150	1,39	1,18	2,18	-0,15	0,60	0,734	0,067	0,134
P	--/	0,050	0,009	0,026	9	0,017	0,088	1,45	1,25	2,11	-0,03	0,29	0,564	0,043	0,076
Si	--/	4,75	0,20	0,74	13	3,82	5,75	1,35	1,26	2,33	0,00	0,00	0,16	4,70	5,35
F <sup>-</sup>	--/	0,26	0,04	0,09	5	0,17	0,36	1,14	0,98	1,67	0,01	0,09	0,34	0,25	0,39
Fe	--/	0,167	0,042	0,141	11	0,025	0,480	2,23	1,01	2,23	-0,11	1,09	0,911	0,118	0,270
Li	мкг/ дм <sup>3</sup>	33,07	6,14	18,42	9	3,75	57,48	1,33	1,59	2,11	-0,71	1,04	0,87	26,10	62,10
Al	то же	57,1	25,1	71,1	8	5,1	201,0	2,02	0,73	2,03	0,48	3,18	1,2	29,5	109,2
Sc	--/	0,21	0,02	0,05	8	0,11	0,26	1,04	1,91	2,03	-0,02	0,03	0,27	0,20	0,27
Ti	--/	2,78	1,25	3,74	9	0,21	9,92	1,91	0,69	2,11	0,90	4,63	1,42	1,17	4,85
V	--/	1,34	0,14	0,41	9	0,63	1,84	1,19	1,73	2,11	-0,03	0,07	0,36	1,28	1,82
Cr	--/	0,66	0,07	0,20	9	0,39	1,03	1,85	1,38	2,11	-0,01	0,05	0,31	0,63	0,87
Mn	--/	198,1	117,8	353,3	9	6,8	872,5	1,91	0,54	2,11	4,69	9,09	1,8	41,2	245,3
Co	--/	0,08	0,01	0,03	6	0,05	0,13	1,61	0,85	1,82	0,02	0,12	0,39	0,07	0,12
Ni	--/	0,76	0,14	0,43	9	0,32	1,57	1,86	1,02	2,11	0,04	0,26	0,55	0,66	1,15
Cu	--/	1,05	0,13	0,46	12	0,48	2,00	2,06	1,25	2,29	0,01	0,10	0,42	0,97	1,40
Zn	--/	4,32	1,51	5,65	14	0,05	17,00	2,24	0,76	2,37	-1,58	5,11	1,59	1,74	6,22
Ga	--/	0,041	0,007	0,019	7	0,015	0,07	1,53	1,42	1,94	-0,07	0,27	0,527	0,037	0,067
Ge	--/	0,008	0,002	0,005	8	0,001	0,02	1,42	1,62	2,03	-1,70	2,16	1,083	0,006	0,019
As	--/	1,868	0,079	0,237	9	1,502	2,21	1,46	1,54	2,11	0,00	0,00	0,128	1,854	2,108

Se	--	1,032	0,127	0,380	9	0,559	1,71	1,77	1,25	2,11	-0,01	0,09	0,380	0,970	1,419
Br	--	121,27	34,25	102,74	9	12,24	323,0	1,96	1,06	2,11	-0,38	1,63	1,01	83,02	226,93
Rb	--	11,80	2,00	6,00	9	5,21	21,98	1,70	1,10	2,11	0,01	0,22	0,52	10,50	17,59
Sr	--	83,15	6,57	18,59	8	52,98	106,5	1,26	1,62	2,03	-0,01	0,02	0,24	81,13	105,09
Y	--	0,259	0,095	0,268	8	0,055	0,78	1,93	0,76	2,03	0,36	2,00	1,057	0,159	0,489
Zr	--	0,009	0,002	0,004	7	0,003	0,01	1,28	1,46	1,94	-0,17	0,47	0,639	0,007	0,015
Nb	--	0,003	-	-	7	0,003	0,003	-	-	1,94	-	-	-	0,003	0,003
Mo	--	0,852	0,155	0,464	9	0,262	1,478	1,35	1,27	2,11	-0,08	0,40	0,630	0,727	1,366
Ru	--	0,003	-	-	7	0,003	0,003	-	-	1,94	-	-	-	0,003	0,003
Rh	--	0,001	0,000	0,001	9	0,001	0,003	1,88	0,80	2,11	0,12	0,55	0,701	0,001	0,002
Pd	--	0,002	0,000	0,001	9	0,001	0,003	0,64	1,81	2,11	-0,04	0,06	0,333	0,002	0,003
Ag	--	0,003	-	-	5	0,003	0,003	-	-	1,67	-	-	0,000	0,003	0,003
Cd	--	0,011	0,004	0,012	11	0,001	0,037	2,17	0,80	2,23	0,37	5,15	1,526	0,004	0,018
In	--	0,001	-	-	7	0,001	0,001	-	-	1,94	-	-	-	0,001	0,001
Sn	--	0,013	0,002	0,006	8	0,002	0,021	1,38	1,78	2,03	-0,48	0,64	0,722	0,011	0,023
Sb	--	0,225	0,034	0,097	8	0,066	0,385	1,64	1,64	2,03	-0,13	0,26	0,533	0,203	0,357
Te	--	0,003	0,000	0,000	6	0,003	0,003	-	-	1,82	-	-	0,000	0,003	0,003
I	--	14,21	2,93	8,80	9	5,91	32,17	2,04	0,94	2,11	0,06	0,32	0,59	12,14	21,81
Cs	--	0,44	0,09	0,25	7	0,15	0,76	1,29	1,18	1,94	-0,06	0,48	0,64	0,38	0,78
Ba	--	23,3	2,0	5,6	8	16,0	32,3	1,60	1,30	2,03	<0,01	0,03	0,20	22,7	29,5
Lu	--	0,003	0,001	0,003	6	0,000	0,008	1,57	0,87	1,82	-0,11	5,15	1,380	0,002	0,008
Hf	--	0,001	<,001	0,001	8	0,000	0,002	1,35	0,86	2,03	0,07	1,09	0,862	0,001	0,001

Продолжение таблицы 4.1.4

Ta	--	0,004	0,001	0,002	9	0,000	0,005	0,49	2,11	2,11	-1,19	1,18	0,904	0,003	0,008
W	--	0,415	0,139	0,394	8	0,089	1,046	1,60	0,83	2,03	0,24	1,32	0,919	0,285	0,755
Re	--	0,006	0,001	0,002	9	0,002	0,009	1,30	1,71	2,11	-0,09	0,17	0,470	0,005	0,009
Ir	--	0,003	-	-	8	0,003	0,003	-	-	2,03	-	-	-	0,003	0,003
Pt	--	0,002	0,000	0,001	9	0,001	0,003	0,50	1,94	2,11	-0,05	0,07	0,350	0,002	0,003
Au	--	0,003	-	-	8	0,003	0,003	-	-	2,03	-	-	-	0,003	0,003
Hg	--	0,023	0,001	0,003	8	0,018	0,025	0,61	1,62	2,03	<,01	<,01	0,138	0,023	0,027
Tl	--	0,036	0,011	0,032	8	0,005	0,090	1,66	0,95	2,03	-0,05	1,42	0,942	0,025	0,068
Pb	--	0,83	0,28	1,00	13	0,01	3,08	2,24	0,83	2,33	-5,15	7,06	1,74	0,35	1,50
Bi	--	0,003	0,001	0,004	8	0,000	0,011	2,34	0,74	2,03	0,15	1,86	1,032	0,002	0,005
La	--	0,310	0,117	0,330	8	0,026	0,892	1,77	0,86	2,03	0,03	4,14	1,346	0,158	0,657
Ce	--	0,739	0,274	0,775	8	0,050	1,941	1,55	0,89	2,03	-0,13	4,52	1,386	0,369	1,603
Pr	--	0,071	0,029	0,081	8	0,001	0,206	1,66	0,85	2,03	-2,03	9,19	1,756	0,027	0,177
Nd	--	0,307	0,112	0,317	8	0,013	0,775	1,48	0,93	2,03	-0,75	5,21	1,453	0,151	0,705
Sm	--	0,065	0,024	0,068	8	0,004	0,197	1,95	0,89	2,03	-0,33	3,85	1,314	0,035	0,140
Eu	--	0,013	0,005	0,014	8	0,000	0,037	1,74	0,92	2,03	-2,59	7,46	1,638	0,006	0,033
Gd	--	0,061	0,022	0,062	8	0,007	0,165	1,68	0,88	2,03	0,01	3,39	1,260	0,034	0,129
Tb	--	0,005	0,002	0,005	7	0,000	0,013	1,67	0,93	1,94	-1,27	7,90	1,633	0,002	0,013
Dy	--	0,045	0,018	0,051	8	0,004	0,128	1,64	0,82	2,03	0,35	4,45	1,379	0,022	0,093
Ho	--	0,008	0,003	0,010	8	0,000	0,025	1,75	0,83	2,03	-1,02	7,30	1,626	0,003	0,019
Er	--	0,018	0,007	0,021	8	0,000	0,057	1,86	0,86	2,03	-1,56	6,54	1,568	0,008	0,043
Tm	--	0,001	0,001	0,001	7	0,000	0,004	1,74	0,65	1,94	0,84	2,80	1,155	0,001	0,002

Продолжение таблицы 4.1.4

Yb	-//-	0,009	0,003	0,009	7	0,001	0,022	1,50	0,89	1,94	-0,66	3,97	1,299	0,005	0,021
Th	-//-	0,002	0,000	0,001	7	0,001	0,005	1,97	1,09	1,94	0,00	0,17	0,454	0,002	0,004
U	-//-	0,401	0,043	0,121	8	0,239	0,596	1,61	1,34	2,03	-0,01	0,05	0,316	0,384	0,537
ПО	мгО/ дм <sup>3</sup>	1,49	0,20	0,53	7	0,96	2,48	1,88	1,00	1,94	0,02	0,06	0,32	1,42	2,05
С <sub>орг.</sub>	мгС/ дм <sup>3</sup>	1,71	0,28	0,87	10	0,50	3,15	1,65	1,38	2,18	-0,06	0,25	0,55	1,51	2,53

Примечание: условные обозначения те же, что и в табл. 4.1.1

Таким образом, на данном этапе исследований в целом допустимо рассматривать средние геометрические значения геохимических вод как оценки их математического ожидания, а, соответственно, фон  $C_b$  – как верхний предел определения среднего геометрического (табл. 4.1.1, 4.1.2). Безусловно, небольшое количество проб составляет возможность рассмотрения и иных вариантов, но с учетом результатов исследований других авторов [Инструкция..., 1983] можно предположить, что для большинства химических элементов этот вывод не изменится.

Анализ полученных данных показал, что изученные грунтовые и речные воды, 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 (в том числе – на уровне фоновых концентраций; табл. 4.1.5), что соответствует водам, состав которых формируется при взаимодействии вод с осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород, в среднем пересыщены относительно соединений с гуминовыми кислотами и кварцем и недонасыщены относительно ряда первичных алюмосиликатов и карбонатов (рис. 4.1.3). Согласно [Гидрохимические показатели..., 2007], по величине рН речные воды в среднем нейтральные (6,5–7,5), а грунтовые воды – слабокислые и нейтральные; по величине Eh: речные воды – с окислительной обстановкой, а грунтовые – с переходной окислительно-восстановительной.

Таблица 4.1.5 – Результаты расчета показателя загрязненности  $Z_C$  (2.2) и отношения фактических и предельно допустимых концентраций  $Z_L$  (2.3), принятых в КНР и РФ, в грунтовых и речных водах в водосборе озера Поян

Пункт	Дата	$Z_C$	$Z_{L(КНР)1-2*}$	$Z_{L(КНР)}$	$Z_{L(РФ)1-2}$	$Z_{L(РФ)}$	Класс, группа, тип воды по О.А. Алекину		
Грунтовые воды									
P93	29.10.19	215,92	0,73	2,54	1,32	3,42	C	Ca	I
P97	01.11.19	86,76	0,83	2,32	1,56	4,04	C	Ca	III
<b>P99</b>	<b>01.11.19</b>	<b>86,54</b>	<b>1,47</b>	<b>2,53</b>	<b>1,64</b>	<b>3,23</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>II</b>
<b>99p</b>	<b>19.10.22</b>	<b>33,90</b>	<b>1,12</b>	<b>1,95</b>	<b>1,41</b>	<b>2,32</b>	<b>S</b>	<b>Ca</b>	<b>II</b>
<b>p01</b>	<b>19.10.22</b>	<b>192,31</b>	<b>0,70</b>	<b>2,58</b>	<b>1,05</b>	<b>3,18</b>	<b>C</b>	<b>K</b>	<b>II</b>
po5	19.10.22	65,22	0,39	0,88	1,30	2,52	C	Na	I
А (за 2013–2022 гг.)		199,85	0,60	42,09	0,66	41,97	C	Ca-Mg	II

$\delta_A$		88,05	0,12	25,18	0,12	25,07	-	-	-
Классификация по фоновым значениям $C_b$							С	Ca	II
Речные воды									
P96	01.11.19	1,00	0,54	1,57	1,88	3,16	С	Ca	I
P98	01.11.19	3,29	0,73	1,81	3,88	5,26	С	Ca	II
P102	01.11.19	19,37	0,72	1,66	3,28	4,59	С	Ca	II
P104	04.11.19	13,42	0,73	2,47	1,54	3,61	С	Ca	II
95p	19.10.22	317,72	1,55	13,39	3,08	15,16	С	Ca	II
98p	19.10.22	153,36	6,98	8,14	9,44	10,81	С	Ca	II
102p	19.10.22	73,37	1,52	4,03	4,71	7,46	С	Ca	II
<b>104p</b>	<b>19.10.22</b>	<b>4084,78</b>	<b>1,39</b>	<b>15,41</b>	<b>2,03</b>	<b>16,55</b>	<b>Cl</b>	<b>Ca</b>	<b>III</b>
А (за 2013–2022 гг.)		361,47	1,27	5,49	2,44	6,84	С	Ca	II
$\delta_A$		311,30	0,49	1,47	0,72	1,48	-	-	-
Классификация по фоновым значениям $C_b$							С	Ca	II

Примечание: А и  $\delta_A$  – среднее арифметическое и погрешность его определения за 2013 – 2022 гг.; средние значения класса, группы и типа определены путем использования численных индексов с последующим округлением до ближайшего целого (пример расчета класса по преобладающему аниону: С=1; S=2; C=1; среднее 1,333; итог: класс С); полужирным шрифтом выделены пробы с существенным отклонением типа (класса, группы) воды по химическому составу от средних значений;  $Z_{L(КНР)1-2*}$  и  $Z_{L(РФ)1-2}$  – соотношение (2.3) по китайским и российским нормативам хозяйственно-питьевого назначения для веществ 1 и 2 классов опасности по перечню, принятому в РФ;  $Z_{L(КНР)}$  и  $Z_{L(РФ)}$  – соотношение (2.3) для веществ всех классов опасности по китайским и российским нормативам хозяйственно-питьевого назначения

И в грунтовых, и в речных водах могут отмечаться достаточно высокие, по сравнению с фоном, концентрации ряда веществ (табл. 4.1.5, 4.1.6), что может указывать как на загрязнение, так и на природные геохимические аномалии, особенно с учетом приведенной в разделе 3.4 характеристики хозяйственной деятельности в регионе. Также отметим, что фоновые концентрации ряда веществ (для грунтовых вод –  $\text{NO}_2^-$ , Cd, Hf, Ta, Os, Pt, Th; для речных вод –  $\text{NO}_2^-$ , Nb, Ru, In, Te, Os, Ir, Au, Ag) оказались на уровне порога обнаружения. Вследствие этого значения показателя  $Z_C$  в ряде случаев оказались достаточно высокими (табл. 4.1.5), но даже без

учета соотношений по указанным выше веществам уровень загрязнения по величине  $Z_C$ , согласно рекомендациям [Требования..., 2002], достаточно высок (табл. 4.1.5, 4.1.6).

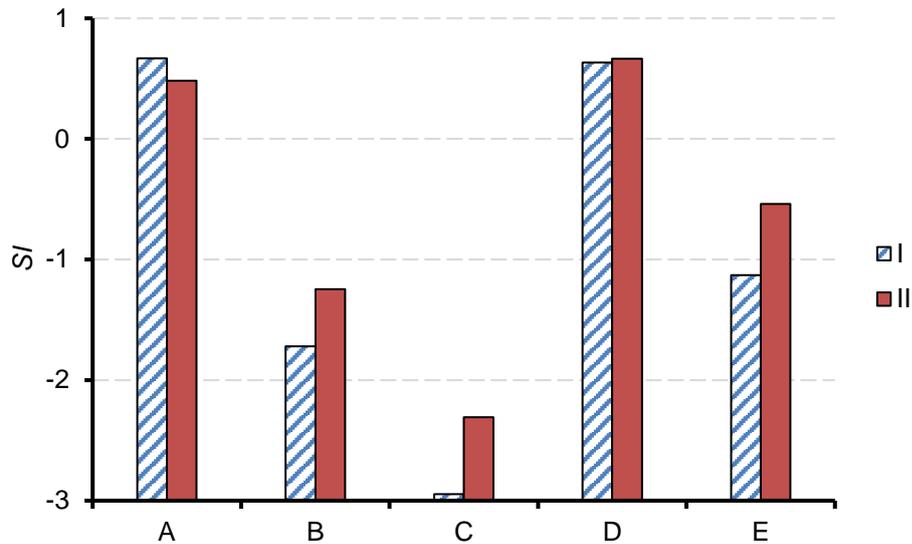


Рисунок 4.1.3 – Индексы насыщения грунтовых (I) и речных (II) вод относительно кварца (A), кальцита (B), доломита (C), гумата кальция (D), мусковита (E); реакции: A)  $\text{SiO}_2(\text{quartz}) + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$ ; B)  $\text{CaCO}_3(\text{calcite}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2 \cdot \text{HCO}_3^-$ ; C)  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{dolomite}) + 2 \cdot \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4 \cdot \text{HCO}_3^-$ ; D)  $\text{Ca}(\text{ГК}) = \text{Ca}^{2+} + \text{ГК}$ ; E)  $2 \cdot \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{OH}_2(\text{muscovite}) + 2 \cdot \text{H}^+ + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 3 \cdot \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{kaolinite}) + 2 \cdot \text{K}^+$

Таблица 4.1.6 – Вещества и кратность превышения фона в грунтовых и речных водах в водосборе озера Поян

Пункт	Объект	Дата отбора	$Z_C^*$	Вещества и кратность превышения фоновых концентраций
Грунтовые воды				
P7	скважина	18.10.13	39.85	( $\text{NO}_2^-$ 30,0); $\text{PO}_4^{3-}$ 6,4; Zn 3,6; K 2,8
P8	скважина	18.10.13	2.08	Cu 2,1
P9	скважина	18.10.13	17.99	Fe 18,0
P10	колодец	18.10.13	1.00	-
P11	скважина	19.10.13	4.24	$\text{F}^-$ 2,8; $\text{NO}_3^-$ 2,4
P12	скважина	19.10.13	10.75	( $\text{NO}_2^-$ 7,0); Pb 3,5; $\text{NO}_3^-$ 2,2
P13	скважина	19.10.13	40.34	$\text{K}^+$ 10,1; Fe 8,7; $\text{F}^-$ 7,7; $\text{PO}_4^{3-}$ 6,1; $\text{NO}_3^-$ 5,9; $\text{SO}_4^{2-}$ 3,6; $\text{Na}^+$ 2,7; $\text{Cl}^-$ 2,5
P14	скважина	19.10.13	467.44	Fe 443,4; Cu 20,2; $\text{NH}_4^+$ 5,9
P15	скважина	19.10.13	177.75	Fe 171,4; Pb 5,0; $\text{NH}_4^+$ 3,4

Продолжение таблицы 4.1.6

P16	скважина	19.10.13	138.96	Fe 122,2; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 11,0; F <sup>-</sup> 5,6; C <sub>org</sub> 4,9; Cu 3,1
P17	скважина	19.10.13	360.81	Fe 340,7; Cu 16,4; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 5,7
P18	скважина	19.10.13	1101.36	(Cd 1100,0); Cl <sup>-</sup> 2,4
P19	скважина	19.10.13	2.43	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 2,4
P20	скважина	19.10.13	6.78	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 5,7; Zn 2,1
P21	колодец	19.10.13	63.32	Pb 28,9; (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 26,0); Fe 7,5; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 3,9
P22	скважина	19.10.13	1.00	-
P23	скважина	19.10.13	2.32	Fe 2,3
P82	скважина	12.11.17	4.00	(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 4,0)
P83	колодец	12.11.17	12.63	(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 7,0); NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 3,9; PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 2,4; Cl <sup>-</sup> 2,3
P82	скважина	16.05.18	4.60	(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 4,6)
P83	колодец	16.05.18	10.65	(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 9,0); SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2,6
P90	скважина	16.05.18	2378.83	Fe 2373; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 5,3; Si 2,5
P91	скважина	16.05.18	265.88	Fe 263,0; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 3,9
P93	колодец	29.10.19	215.92	(Cd 209,4); Ag 4,1; K 2,7; Ru 2,7
P97	скважина	01.11.19	86.76	(Cd 42,1); U 19,1; V 8,5; Mo 4,8; Sr 3,8; As 2,9; Sb 2,6; HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 2,5; (Th 2,2); Rh 2,2; K <sub>2</sub> ,1; PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 2,0
P99	колодец	01.11.19	86.54	(Cd 71,4); (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 11,0); K 3,8; SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2,2; NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 2,2
99p	скважина	19.10.22	33.90	(Cd 27,2); K 3,2; Te 2,9; SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2,7; Zn 2,0
p01	скважина	19.10.22	192.31	Ag 97,0; (Cd 89,2); K 3,4; Ti 2,7; Al 2,6; Co 2,4
po5	колодец	19.10.22	65.22	Ag 35,1; (Cd 24,3); I 4,2; Hg 3,5; Li 2,1
A	-	-	199.85	-
δ <sub>A</sub>	-	-	88.05	-
Речные воды				
ПЛ-2	р. Гань-цзян	24.01.13	1.00	-
ПЛ-3	р. Сюшуй	24.01.13	5.00	(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 5,0)
P1	р. Сюшуй	18.10.13	1.00	-
P3	р. Сюшуй	18.10.13	19.80	Fe 13,3; Pb 3,1; Zn 2,7; Cu 2,4; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 2,4
P4	р. Гань-цзян	18.10.13	6.07	Cu 2,9; Fe 2,6; Zn 2,6
P96	р. Цзинь-цзян	01.11.19	1.00	-

Продолжение таблицы 4.1.6

P98	р. Цзинь-цзян	01.11.19	3.29	(Te 3,3)
P102	р. Цзинь-цзян	01.11.19	19.37	W 15,2; (Te 5,2)
P104	р. Гань-цзян	04.11.19	13.42	Th 7,0; Tm 3,6; Yb 2,6; Bi 2,1; Cd 2,1
95p	р. Цзинь-цзян	19.10.22	317.72	(Ag 287,6); (Au 14,2); Co 4,5; Mn 3,6; Hf 3,4; Ga 2,9; Cd 2,6
P98 (98p)	р. Цзинь-цзян	19.10.22	153.36	(Ag 138,6); Tl 9,4; Cs 7,3
102p	р. Цзинь-цзян	19.10.22	73.37	(Ag 73,4)
104p	р. Гань-цзян	19.10.22	4084.78	(Ag 3920); Bi 34,3; Th 18,8; Co 18,7; Tm 15,7; Cd 6,5; Tb 5,8; Er 5,8; Y 5,5; Gd 5,0; Fe 4,7; Sm 4,7; Ga 4,6; Dy 4,6; Ho 4,5; K 4,4; La 4,5; Ce 3,9; Nd 3,7; Pr 3,6; Eu 3,2; Mn 3,1; Al 3,0; Lu 2,9; Da 2,7; Zr 2,6; Sc 2,2; Pb 2,0; Tl 2,2; Cl 2,0
A	-	-	361.47	-
$\delta_A$	-	-	311.30	-

Примечание:  $Z_C$  – комплексный показатель по уравнению (2.2) с использованием фоновых концентраций  $C_b$ , рассчитанных по уравнению (2.1) после исключения экстремальных значений (табл. 4.1.1, 4.1.2); в скобках приведены вещества и кратность превышения фона, определенного на уровне порога обнаружения; A и  $\delta_A$  – среднее арифметическое и погрешность его определения

В сравнении с водами в других природных зонах Азии (табл. 4.1.7–4.1.9), химический состав грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян закономерно в целом наиболее близок к соответствующим показателям для вод в зоне переменного-влажных лесов субтропического и субэкваториального поясов [Эдельштейн, 2005; Подземные воды мира..., 2007; Shvartsev, 2008; Гусева, 2018].

Сопоставление данных о химическом составе речных и грунтовых вод в водосборе озера Поян с рыбохозяйственными и хозяйственно-питьевыми нормативами качества вод в КНР и РФ [ГОСТ 17.1.2.04-77; СанПиН 1.2.3685-21; GB 5749-2006; GB/T 14848-2017] показало, что в 2019 г. состояние первых (речных вод) изменялось от олигосапробных, “чистых” (реки Ганьцзян и

Юаньшуй) до мезосапробных, “загрязненных” (р. Цзиньцзян). Грунтовые воды – по средним значениям мезосапробные, “загрязненные”, не соответствуют условию (2.3) по российским хозяйственно-питьевым нормативам, но близки к норме при использовании питьевых нормативов КНР. При этом необходимо отметить, средние арифметические значения суммы  $\sum_{1-2} \frac{C}{C_{lim}}$  для речных и грунтовых вод за весь период наблюдений и по российским, и по китайским нормативам менее единицы, причем для грунтовых вод эти значения больше, чем для речных (значение  $\sum_{1-2} \frac{C}{C_{lim}}$  для речных вод: норматив РФ – 0,45, норматив КНР – 0,13; значение  $\sum_{1-2} \frac{C}{C_{lim}}$  для грунтовых вод: норматив РФ – 0,90, норматив КНР – 0,42 [Soldatova et al., 2022]).

Сточные воды одного из изученных выпусков – пресные с малой минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные, гиперсапробные, “грязные”; другого выпуска – пресные с высокой минерализацией, сульфатные натриевые, слабощелочные, полисапробные, “грязные” [Soldatova et al., 2022]. Примерно такая же ситуация была отмечена и в октябре 2022 г. Максимальные отклонения от геохимического фона и в 2019 г., и в 2022 г. отмечены в сточных водах (табл. 4.1.1, 4.1.2).

Таблица 4.1.7 – Средние значения геохимических показателей подземных вод в различных регионах Азии

Показатель	Единицы измерения	Тундра (Северная Азия)	Лесная зона (Западная Сибирь)	Лесостепь (Западная Сибирь)	Степь (Западная Сибирь)	Степь, Казахстан	Горы Алтая	Северный Вьетнам * [Нгуен, 2017]	Водосбор озера Поян
		[Schvartsev, 2008]							
pH	ед. pH	6,54	7,21	7,36	7,74	7,31	7,43	7,01	6,61
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	102	469	594	865	1335	408	281,3	213.3
Ca <sup>2+</sup>	то же	13,0	66,0	75,0	68,0	109,0	52,2	57,7	23.8
Mg <sup>2+</sup>	--/--	5,37	21,0	28,0	29,0	51,6	17,6	6,5	6.9
Na <sup>+</sup>	--/--	4,28	38,0	41,0	87,0	214,0	32,4	4,2	16.2
K <sup>+</sup>	--/--	0,84	2,6	2,9	5,3	19,5	2,67	1,7	7.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	--/--	61,5	315,0	396,0	542,0	309,0	226,0	196,1	92.9
Cl <sup>-</sup>	--/--	4,03	6,4	14,1	61,0	162,0	34,5	3,7	23.6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	--/--	4,84	4,1	16,3	51,0	441,0	32,6	4,8	19.5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	--/--	0,36	1,8	2,6	1,8	3,13	–	3,324	15.868
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	--/--	0,02	–	–	–	–	–	0,010	0.010
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	--/--	0,22	0,30	0,42	0,57	0,08	–	0,062	0.580
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	--/--	–	0,13	0,29	0,37	0,19	–	0,035	0.095
Si	--/--	3,55	6,58	8,08	9,06	9,48	4,72	7,86	10,51
Fe	--/--	0,200	1,1	0,8	0,7	–	0,776	0,148	0,091
Li	мкг/дм <sup>3</sup>	3,97	7,4	8,3	10,5	27,5	–	1,34	1,61
Al	--/-- то же	160	221	260	319	–	522	3,6	8,1
Ti	--/--	3,34	7,3	5,0	16,2	57,8	33,2	0,27	0,57

V	--/	0,50	0,5	0,9	2,3	3,5	1,75	–	0,37
Cr	--/	2,52	4,2	2,3	4,8	3,8	3,75	–	1,40
Mn	--/	12,3	46	38	83	64,2	185	3,2	131,1
Co	--/	0,30	0,11	0,32	0,36	0,55	0,31	–	0,14
Ni	--/	1,91	2,2	1,8	4,1	2,7	2,45	0,12	1,88
Cu	--/	1,94	2,1	2,4	4,6	6,7	7,25	1,78	1,59
Zn	--/	23	28	34	63	38,3	17,6	14,82	18,13
As	--/	0,73	1,5	1,7	0,9	0,79	0,55	0,25	0,26
Sr	--/	21,3	77	153	511	480	348	–	85,93
Mo	--/	0,64	0,40	0,35	0,81	1,4	0,43	–	0,15
Cd	--/	–	0,13	0,16	0,21	0,47	0,31	0,042	<0,01
Hg	--/	–	0,024	0,033	0,036	–	0,059	–	0,035
Pb	--/	1,88	1,8	1,9	1,9	3,2	4,71	0,28	0,90
U	--/	0,25	0,17	0,53	0,61	–	1,18	–	0,054
C <sub>орг.</sub>	мгС/дм <sup>3</sup>	10,1	5,8	6,9	7,1	–	5,05	–	1,14
N	–	4	941	1740	345	455	606	10–46	5–29

Примечание: \* про горным районам бассейна р. Красной (Вьетнам, провинция Баккан, уезд Чодонь) приведены средние геометрические значения, в остальных случаях – средние арифметические

Таблица 4.1.8 – Средние значения рН, растворённых газов, концентраций макрокомпонентов и значений косвенных показателей содержания органических веществ в речных водах Сибири [Савичев, 2010] и северной части Вьетнама [Нгуен, 2017], мг/дм<sup>3</sup>

Природная зона	Статистика	рН	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Σ <sub>mi</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	БПК <sub>5</sub>	ПО	БО
тундра	<i>C<sub>a</sub></i>	5,81	8,5	–	44,0	9,3	2,5	3,7	0,8	18,6	6,0	2,7	1,47	26,93	60,01
	<i>C<sub>g</sub></i>	5,78	7,3	–	24,9	5,9	1,7	2,3	0,1	7,3	2,2	1,2	0,73	23,52	50,85
лесотундра	<i>C<sub>a</sub></i>	7,58	8,8	–	172,2	13,4	7,6	13,3	6,0	107,3	5,3	19,3	1,55	–	17,68
	<i>C<sub>g</sub></i>	7,57	8,8	–	122,5	8,3	5,5	5,0	2,3	80,9	3,0	7,4	1,41	–	16,55
тайга	<i>C<sub>a</sub></i>	7,40	8,1	22,1	268,4	43,7	10,1	10,9	1,3	181,4	9,3	11,0	3,37	18,14	44,14
	<i>C<sub>g</sub></i>	7,36	7,4	10,1	187,3	30,5	6,9	5,7	0,6	116,4	3,7	5,3	2,33	12,18	28,25
лесостепь	<i>C<sub>a</sub></i>	7,66	9,9	9,7	494,2	61,8	20,1	43,4	4,8	276,8	32,8	54,2	3,15	7,96	23,37
	<i>C<sub>g</sub></i>	7,65	9,6	8,6	429,5	55,4	15,5	27,9	3,1	243,1	11,9	40,3	2,23	6,18	17,25
степь	<i>C<sub>a</sub></i>	7,48	11,4	10,1	823,2	63,8	35,6	132,0	14,5	244,4	196,1	136,9	–	13,99	27,38
	<i>C<sub>g</sub></i>	7,46	10,1	8,2	697,2	56,5	27,5	96,5	10,6	212,3	145,3	90,8	–	12,82	25,41
горные районы	<i>C<sub>a</sub></i>	7,45	11,0	3,9	124,9	21,3	4,0	5,0	0,6	79,9	3,2	10,8	2,57	3,43	9,83
	<i>C<sub>g</sub></i>	7,43	10,8	2,2	97,8	16,5	2,8	3,0	0,4	59,7	1,5	7,3	2,17	2,42	7,87
бассейн р.Красной (Вьетнам)	<i>C<sub>g</sub></i>	7,65	–	–	218,4	44,6	5,0	2,0	1,3	150,9	1,4	8,8	–	0,42	3,83

Примечание: *C<sub>a</sub>* – среднее арифметическое; *C<sub>g</sub>* – среднее геометрическое; Σ<sub>mi</sub> – сумма главных ионов с учётом CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; БПК<sub>5</sub> – биохимическое потребление кислорода за 5 суток; ПО и БО – перманганатная и бихроматная окисляемости; прочерк – количество проб менее 10

Таблица 4.1.9 – Средние значения концентраций органических и биогенных веществ, железа и некоторых микроэлементов в речных водах Сибири [Савичев, 2010] и северной части Вьетнама [Нгуен, 2017]

Природная зона	Статистика	Фенолы	ФК	ГК	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
		мг/дм <sup>3</sup>										мкг/дм <sup>3</sup>		
Тундра	<i>C<sub>a</sub></i>	0,007	–	–	0,268	0,041	0,333	0,189	–	1,411	178,7	11,7	20,1	–
	<i>C<sub>g</sub></i>	0,005	–	–	0,039	0,009	0,048	0,048	–	0,726	58,0	3,9	9,6	–
Лесотундра	<i>C<sub>a</sub></i>	0,006	–	–	1,650	0,009	0,314	–	–	0,608	102,3	8,5	62,5	–
	<i>C<sub>g</sub></i>	0,005	–	–	0,982	0,008	0,308	–	–	0,385	93,8	6,9	26,4	–
тайга	<i>C<sub>a</sub></i>	0,007	26,10	9,74	4,203	0,116	1,625	0,267	4,48	1,012	215,4	3,0	11,7	85,4
	<i>C<sub>g</sub></i>	0,002	10,66	6,56	0,699	0,014	0,629	0,115	3,62	0,459	41,4	0,7	2,3	11,0
лесостепь	<i>C<sub>a</sub></i>	0,007	2,25	0,52	4,054	0,082	0,792	0,188	3,91	0,117	6,4	3,4	7,0	30,7
	<i>C<sub>g</sub></i>	0,003	1,87	0,17	1,591	0,022	0,381	0,101	3,37	0,036	3,1	1,1	0,9	6,3
степь	<i>C<sub>a</sub></i>	–	–	–	1,058	0,020	0,230	0,119	4,06	0,231	–	–	–	–
	<i>C<sub>g</sub></i>	–	–	–	0,780	0,017	0,170	0,042	3,40	0,103	–	–	–	–
горные районы	<i>C<sub>a</sub></i>	0,004	1,92	0,56	1,667	0,045	0,279	0,142	3,70	0,171	12,3	3,2	7,5	61,6
	<i>C<sub>g</sub></i>	0,001	1,02	0,25	0,660	0,004	0,109	0,014	3,31	0,040	1,8	0,9	1,6	11,0
бассейн р.Красной (Вьетнам)	<i>C<sub>g</sub></i>	–	–	–	1,716	0,017	0,060	0,025	6,05	0,127	31,2	1,0	13,1	–

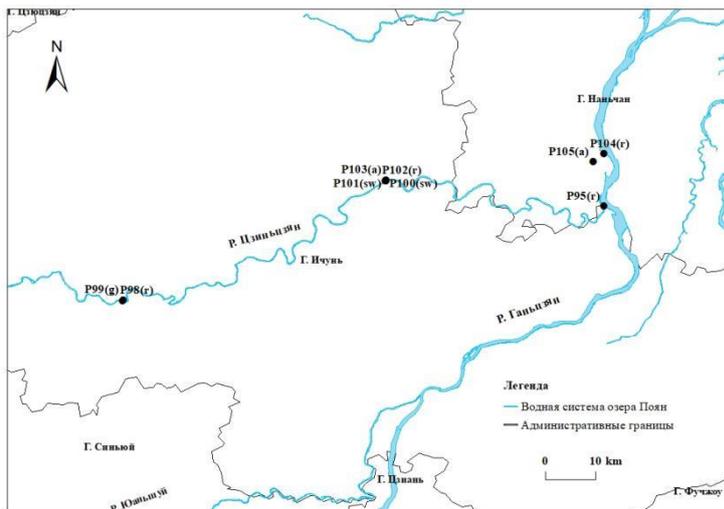
Примечание: ФК и ГК – фульво- и гуминовые кислоты

В целом, общий химический состав изученных грунтовых (верхней гидродинамической зоны) и речных вод находится в соответствии с зональными гидроклиматическими условиями, определяющими характер и время взаимодействия в системе «вода – порода», и, следовательно, соотношение процессов аккумуляции и выноса веществ из разных компонентов окружающей среды. В сочетании с локальными источниками вещества это соответствие и создаёт геохимический «фон», являющийся, по сути, математическим ожиданием компоненты случайного вектора  $(C_1, \dots, C_M)$  с  $M$ -мерной функцией распределения [Шварцев, 1998; Shvartsev, 2008; Савичев, 2010, 2021].

## 4.2. Оценка антропогенного влияния на речные и грунтовые воды в водосборе озера Поян

Оценка антропогенного влияния проводилась, как было указано в главе 2 («Объекты и методика исследования»), как путём сопоставления данных о состоянии водных объектов при наличии и отсутствии явно выраженного загрязнения, так и в результате разработки упрощенных математических моделей гидрогеохимических процессов и анализа результатов моделирования. А поскольку более изученными и доступными для наблюдения являются реки, то в обоих случаях были рассмотрены не только грунтовые воды, но и речные воды с учётом их взаимодействия с донными отложениями.

Сопоставление данных о составе речных и сточных вод на примере участка р. Цзиньцзян у г. Гаоань в 2019 и 2022 гг. показало весьма высокую способность речных вод к самоочищению (табл. 4.2.1; рис. 4.2.1, 4.2.2).



a)



b)

Рисунок 4.2.1 – Расположение пунктов отбора проб в 2019 и 2022 гг. в водосборе р. Ганьцзян (a) и непосредственно на участке сброса сточных вод (b); основа – снимок Google Earth

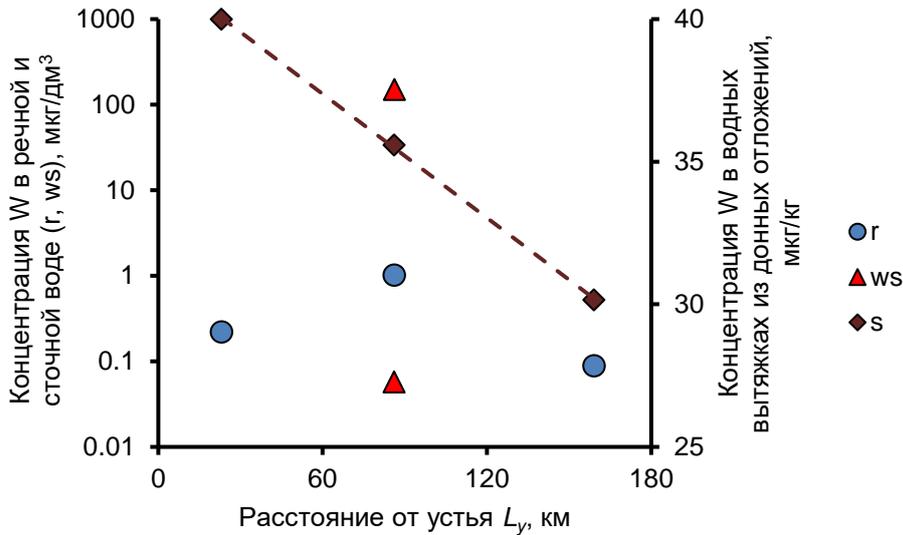
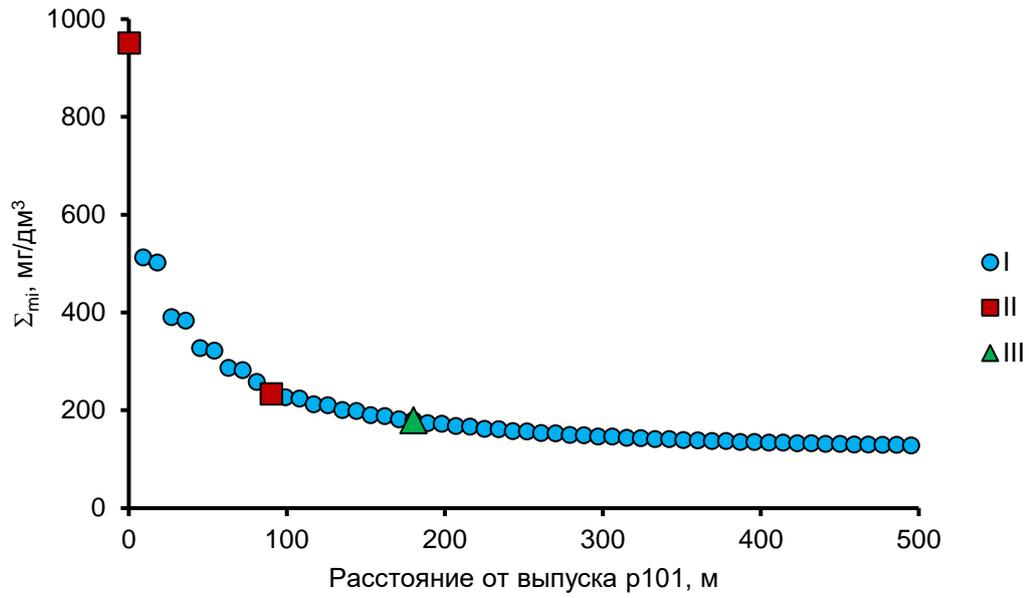


Рисунок 4.2.2 – Измеренные концентрации  $W$  в речных ( $r$ ) и сточных ( $ws$ ) водах, водных вытяжках из донных отложений ( $s$ ) в реке Цзиньцзыань 19.10.2022 г. (расстояние пунктов пробоотбора от устья  $L_y$ , км: 98р – 159,00; 101р (стоки) – 86,18; 101р (стоки) – 86,09; 102р (стоки) – 86,00; 95р – 23,00; точки концентраций  $W$  в водных вытяжках ложатся на прямую  $W=41,77 - 0,07 \cdot L_y$ )

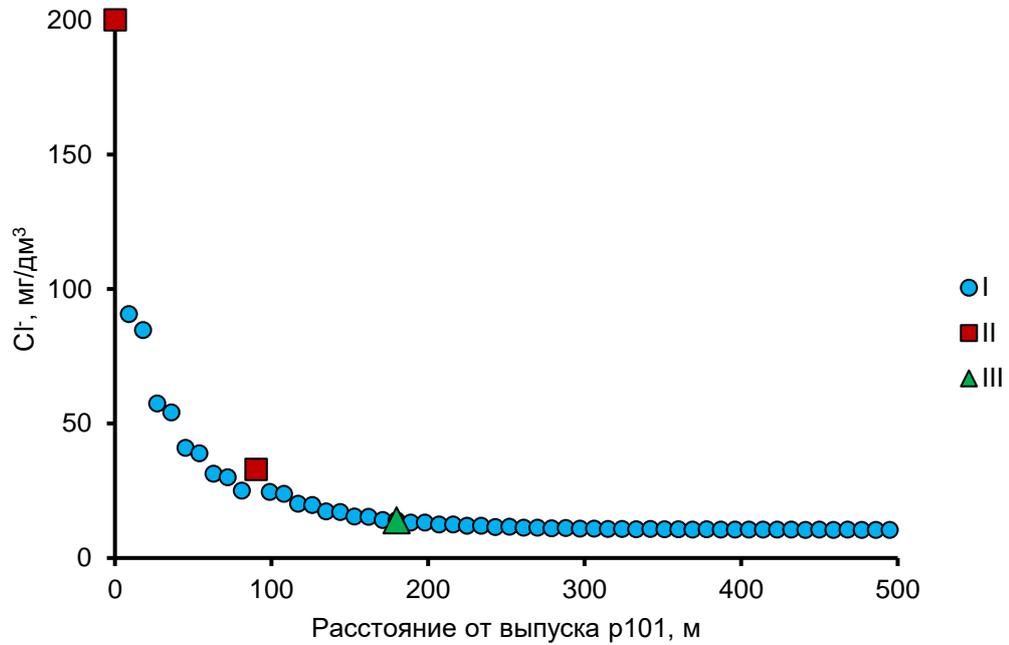
Таблица 4.2.1 – Сумма главных ионов  $\Sigma mi$ , концентрации  $Cl^-$  и  $W$  в водах р. Цзиньцзыань и стоках, поступающих в неё, в межень 2019 и 2022 гг.

Расстояние от устья, км	Номер пробы	$\Sigma mi$ , мг/дм <sup>3</sup>		$Cl^-$ , мг/дм <sup>3</sup>		$W$ , мкг/дм <sup>3</sup>	
		2019 г.	2022 г.	2019 г.	2022 г.	2019 г.	2022 г.
136,5	P98	176,7	165,8	10,8	15,3	0,15	0,09
63,68	P101 (стоки)	949,3	652,6	200,0	217,0	3061,57	150,93
63,59	P100 (стоки)	190,1	228,9	33,0	50,9	0,07	0,06
63,50	P102	180,3	215,6	14,0	27,4	11,44	0,22
22,50	P95	180,7	181,0	15,4	19,8	1,05	1,03

Для объяснения этого факта выполнены расчеты распространения веществ в потоке по уравнению (2.8). В результате установлено, что использование уравнения позволяет получить достаточно высокую сходимость измеренных и расчетных значений гидрохимических показателей в пункте P102, а заметное снижение концентраций веществ, поступающих в р. Цзиньцзыань по выпускам P101 и P100, происходит в пределах 200 м от выпуска даже в условиях очень низкой межени 2019 г. (рис. 4.2.3, 4.2.4).



а)



б)

Рисунок 4.2.3 – Расчетные (в максимально загрязненной струе у берега) и измеренные значения (а) суммы главных ионов  $\Sigma_{mi}$  и (б) содержаний  $Cl^-$  в реке Цзиньцзян: I – расчет по уравнению (2.8); измеренные концентрации в 2019 г. в: II – сточных водах выпусков P101 и P100; III – в р. Цзиньцзян, пункт P102 (табл. 2.1) [Soldatova et al., 2022]

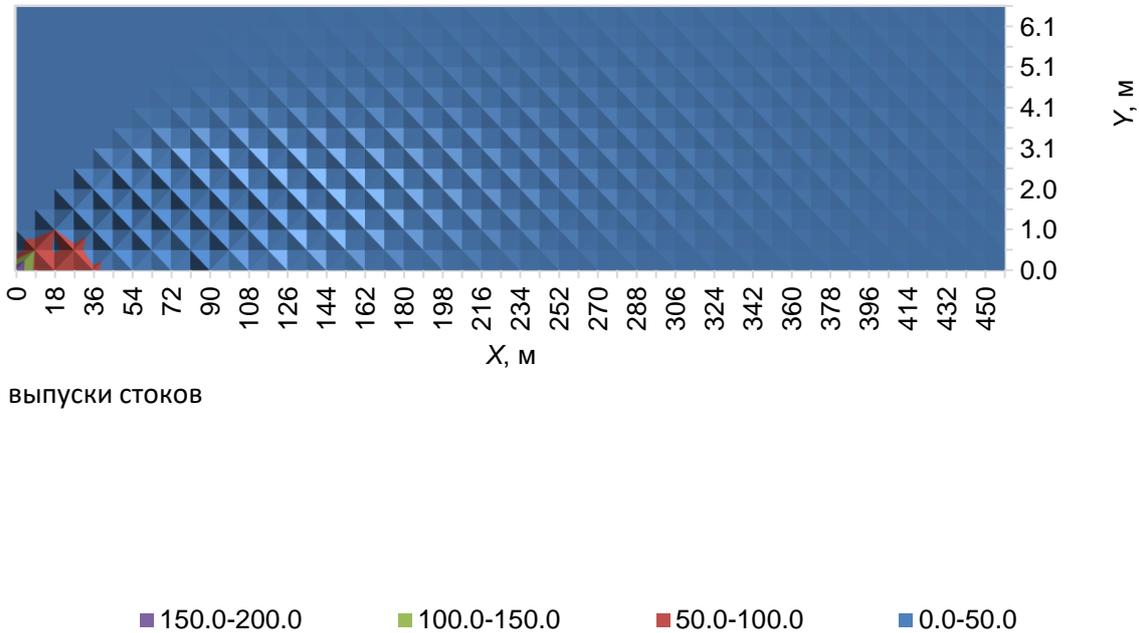


Рисунок 4.2.4 – Фрагмент расчетного поля концентраций  $\text{Cl}^-$  в реке Цзиньцзян в 2019 г. в полосе длиной  $X=459$  м и шириной  $Y=6,1$  м от створа выпуска стоков (при расходе воды  $Q=47$  м<sup>3</sup>/с, ширине потока  $B=150$  м, средней скорости течения  $v_a=0,57$  м; шаг по длине  $dX=9$  м;  $dY=0,51$  м; длина расчетного участка 504 м)

Последний факт свидетельствует о значимости на трансформацию состояния вод приемника стоков не только разбавления сточных вод, но и других процессов самоочищения, например осаждение малорастворимых соединений и сорбции на частицах наносов и донных отложений. Для проверки этого предположения, во-первых, выполнены термодинамические расчеты, показавшие, что речные и грунтовые воды способны растворять полевые шпаты, но близки к равновесию или пересыщены относительно кварца, глинистых минералов и (ориентировочно) соединений кальция и магния с гуминовыми кислотами (рис. 4.1.1). в некоторых случаях – кальцита, доломита и мусковита; кроме того, сточные воды в пункте P101 находились в области устойчивости к монтмориллониту, а прочие воды – к каолиниту [Soldatova et al., 2022].

Во-вторых, был проведен корреляционный и регрессионный анализ, результаты которого в целом согласуются и с теоретическими представлениями о равновесно-неравновесном характере эволюции системы вода–порода применительно к водосбору озера Поян [Shvartsev, 2008;

Солдатова, 2016; гусева, 2018; Soldatova et al., 2022]. Так, по данным за 2019 г. выявлены обратные связи между рН и концентрациями  $\text{CO}_2$  и целого ряда микроэлементов – Y, Tl, Pb, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er (от  $r = -0,85 \pm 0,11$  для  $\text{CO}_2$  и Tl до  $r = -0,56 \pm 0,26$  для Er), что косвенно свидетельствует о выпадении малорастворимых гидроксидов некоторых металлов и соосаждении ряда других веществ. Были установлены и прямые связи рН ( $r = 0,56 \pm 0,26$ ) с гидрокарбонатами (рис. 4.2.5). Последние способствуют образованию гидрокарбонатных и карбонатных комплексов и накоплению ряда элементов в растворе, например U (для рН и концентраций U  $r = 0,80 \pm 0,14$ ) в виде уранил-карбонатного комплекса [Soldatova et al., 2022].

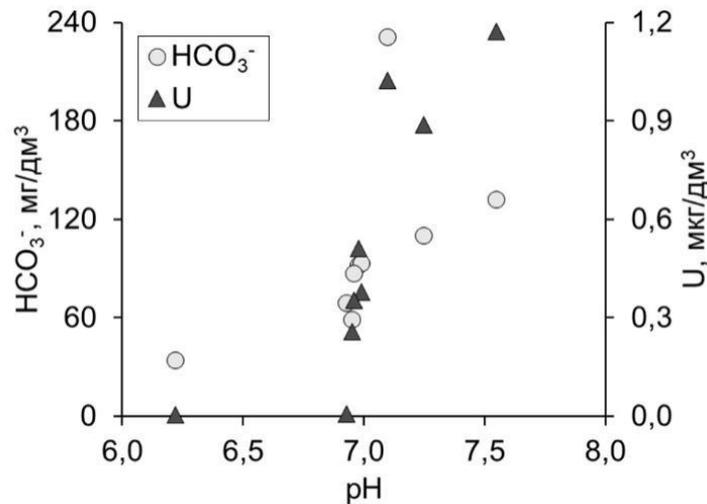


Рисунок 4.2.5 – Зависимость между рН, содержаниями  $\text{HCO}_3^-$  и U в поверхностных, грунтовых и сточных водах водосбора р. Ганыцзян в межень 2019 г. [Soldatova et al., 2022]

В-третьих, в октября 2022 г. автором совместно с Ян Хэн выполнен отбор проб вод и донных отложений р. Цзиньцзян и стоков, в неё поступающих (табл. 2.1), а полученные данные использованы для расчётов трансформации химического состава вод с учётом взаимодействия с донными отложениями по модели (2.12 – 2.19). Апробация этой модели ранее была проведена на примере болот Западной Сибири (Российская Федерация), притоков реки Хонг во Вьетнаме, а также исследуемой реки Цзиньдзян по данным за 2019 г. без учёта состава донных отложений [Savichev et al., 2019; Савичев, Чжоу, 2021; Савичев, Ян, Чжоу, 2022].

При использовании данных о составе вод и отложений ветландов и р. Цзиньцзян в 2022 г. в качестве  $S_{eq}$  были приняты средние геометрические для ветландов и рек, остальные параметры ( $S_{m0}$ ,  $k_m$ ,  $k_c$ ,  $k_s$ ,  $k_{p,0}$ ,  $k_{p,2}$ ,  $n_{pH}$ ,  $n_{kp}$ ) были определены подбором (метод общего понижающего градиента) при условии (2.11), либо вычислены ( $S_m$  с учётом рН воды,  $k_{p,1}$ ,  $k_r$ ) по уравнениям (2.14, 2.15, 2.16). Причём величина  $k_r$  (удельная скорость изменения концентрации  $C$ ) и скорость движения воды в р. Цзиньцзян таковы, что экспонента в уравнении (2.17) стремится к нулю, а

концентрации многих веществ в поверхностных водах (возможно, и в грунтовых) при наличии данных о составе вытяжек из отложений могут быть оценены по уравнению (2.18).

Таблица 4.2.2 – Параметры математической модели трансформации содержаний Ca, Cu и Zn в реках Бан Тхи (пункт M1601) и Дай (пункт M1608), водотоки в бассейне р. Хонг, Вьетнам [Савичев, Чжоу, 2021]

Показатель	Единицы измерения	Ca		Cu		Zn	
		M1601	M1608	M1601	M1608	M1601	M1608
$C_b$ (фон)	мг/дм <sup>3</sup>	83,2	48,8	0,32	0,63	70,61	3,63
$C_w$ (стоки)	то же	67,2	62,5	0,39	0,36	1,28	7,52
$C_{eq}$	–//–	75,9	30,4	0,72	1,15	57,92	7,51
$C_x$ (измерение)	–//–	76,6	49,1	0,43	0,46	48,11	2,34
$C_x$ (расчет)	–//–	76,5	49,1	0,43	0,46	48,14	2,34
$C_e$	–//–	76,5	49,1	0,46	0,44	48,14	2,34
$\delta(2.9)$	%	0,130086	<0,00001	<0,00001	0,001077	0,050501	0,000015
$S$	мг/кг	255,0	228,5	0,12	0,10	0,27	0,10
$S_m$ (2.14)	то же	42,9	40,6	0,96	0,97	1405,57	1447,51
$S_{m0}$	–//–	900,1	900,1	0,44	0,44	269,49	269,49

С учётом этого была проведена апробация усеченной модели (2.18) отдельно для четырёх проб речных вод и донных отложений, отобранных в 2022 г. Удовлетворительная сходимость измеренных и вычисленных значений была достигнута для веществ с различной степенью присутствия в сточных водах (например, Fe – минимальная, рис. 4.2.6, W – одна из наибольших, рис. 4.2.7; степень отличия от геохимического фона определялась по уравнениям (2.1, 2.2)).

Таким образом, модель (2.16–2.18) может быть использована для объяснения и прогнозирования содержаний веществ в речных водах и водных вытяжках из донных отложений, что свидетельствует (с учетом разных способом оценки параметра  $k_r$  в (2.16)) о сложных нелинейных зависимостях между концентрациями веществ в воде, химическим и гранулометрическим составом донных (водовмещающих) отложений, интенсивностью водообмена и геохимической обстановкой в водном объекте (табл. 4.2.3).

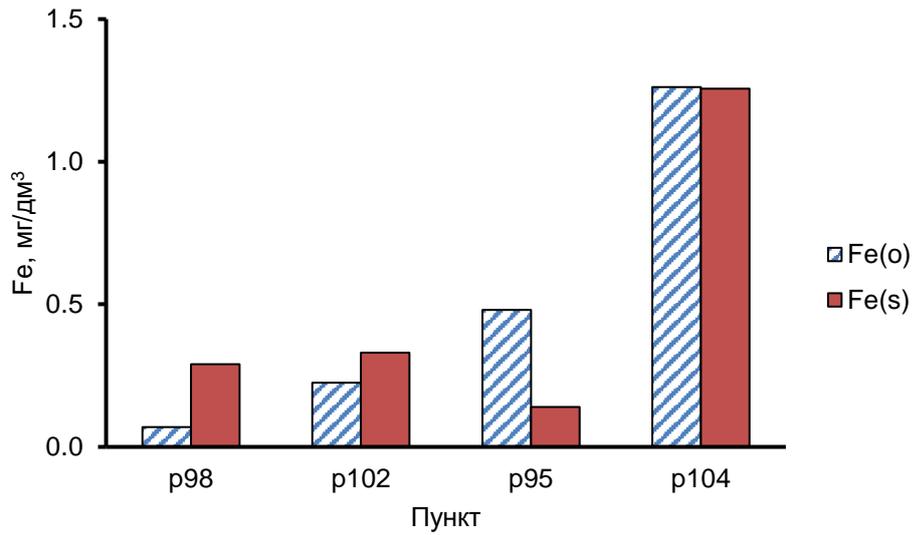


Рисунок 4.2.6 – Измеренные (o) и вычисленные (s) концентрации Fe в водах р. Цзиньцзян в октябре 2022 г. (нумерация по табл. 2.1)

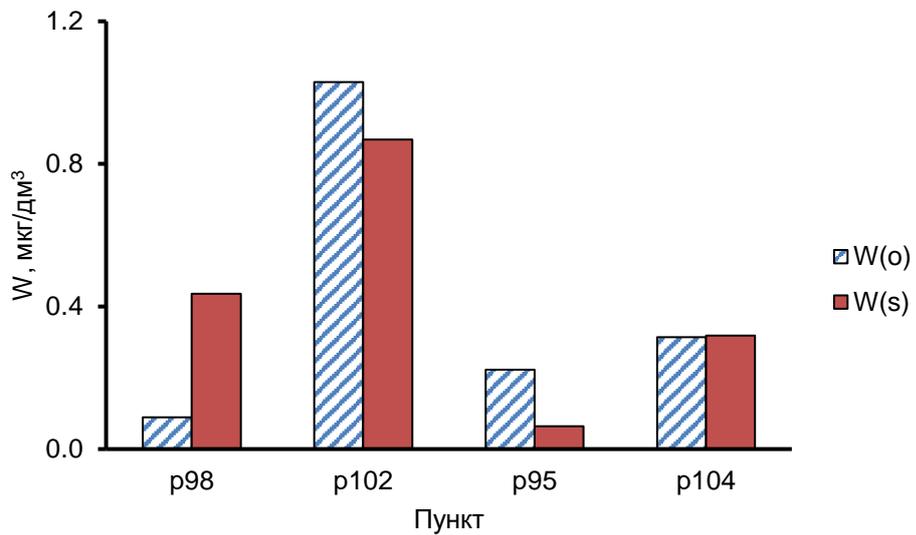


Рисунок 4.2.7 – Измеренные (o) и вычисленные (s) концентрации W в водах р. Цзиньцзян в октябре 2022 г. (нумерация по табл. 2.1)

Таблица 4.2.3 – 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		
		р. Цзиньзян			р. Гань-цзян	$r(w;s)$	$r(s;d_{10})$	$r(w;d_{10})$
		г. Ичунь		устье	ниже р95			
		выше	ниже					
		98р	102р	95р	104р	$\delta_{r(w;s)}$	$\delta_{r(s;d_{10})}$	$\delta_{r(w;d_{10})}$
$d_{10}$	мм	0,258	0,113	0,403	0,003	–	–	–
Fe	мг/дм <sup>3</sup>	0,07	0,22	0,48	1,26	0,26	-0,72	-0,49
	мг/кг	959	1263	574	8350	0,35	0,18	0,29
Cu	мкг/дм <sup>3</sup>	0,9	1,1	1,1	1,8	-0,01	-0,72	-0,43
	мкг/кг	1442	2008	497	9361	0,38	0,18	0,31
Zn	мкг/дм <sup>3</sup>	1,3	5,0	2,7	8,2	0,02	-0,74	-0,38
	мкг/кг	5021	8012	1749	22333	0,38	0,17	0,32
Cd	мкг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,01	0,05	0,11	-0,09	-0,62	-0,39
	мкг/кг	97	146	22	370	0,38	0,23	0,32
W	мкг/дм <sup>3</sup>	0,09	1,03	0,22	0,31	-0,26	-0,58	0,07
	мкг/кг	30	36	40	577	0,35	0,25	0,38
Hg	мкг/дм <sup>3</sup>	0,025	0,005	0,018	0,025	0,43	-0,79	-0,30
	мкг/кг	0,03	0,03	0,03	80,96	0,31	0,14	0,34
Pb	мкг/дм <sup>3</sup>	0,55	0,59	0,95	3,08	0,18	-0,81	-0,47
	мкг/кг	3675	4988	1381	19766	0,37	0,13	0,30

Примечание:  $r(w;s)$ ,  $r(s;d_{10})$ ,  $r(w;d_{10})$  – коэффициенты корреляции между концентрациями в воде ( $w$ ), водной вытяжке из отложений ( $s$ ) и действующим диаметром  $d_{10}$ ;  $\delta_{r(w;s)}$ ,  $\delta_{r(s;d_{10})}$ ,  $\delta_{r(w;d_{10})}$  – погрешности определения соответствующих коэффициентов корреляции; полужирным шрифтом выделены значения  $|r| \geq 2 \cdot \delta_r$

Также следует отметить, что сравнение полученных результатов моделирования трансформации химического состава речных вод в водосборе озера Поян с соответствующими данными по части бассейна реки Красной на севере Вьетнама [Нгуен, 2017] и по реке Томь на юго-востоке Западной Сибири, РФ [Савичев, 2010], а также обзор опубликованных работ по Китаю [Zhang, Liu, 1991; Calculation..., 2010] свидетельствует о более существенном потенциале

водных объектов в районах с тёплым и влажным климатом по сравнению с другими природными условиями. Так, существенное снижение суммы главных ионов и углерода органических соединений в умеренном поясе Северной Азии в водных объектах с сопоставимой антропогенной нагрузкой (р. Томь) в среднем отмечается примерно в 8–10 км от выпусков сточных вод (рис. 4.2.8).

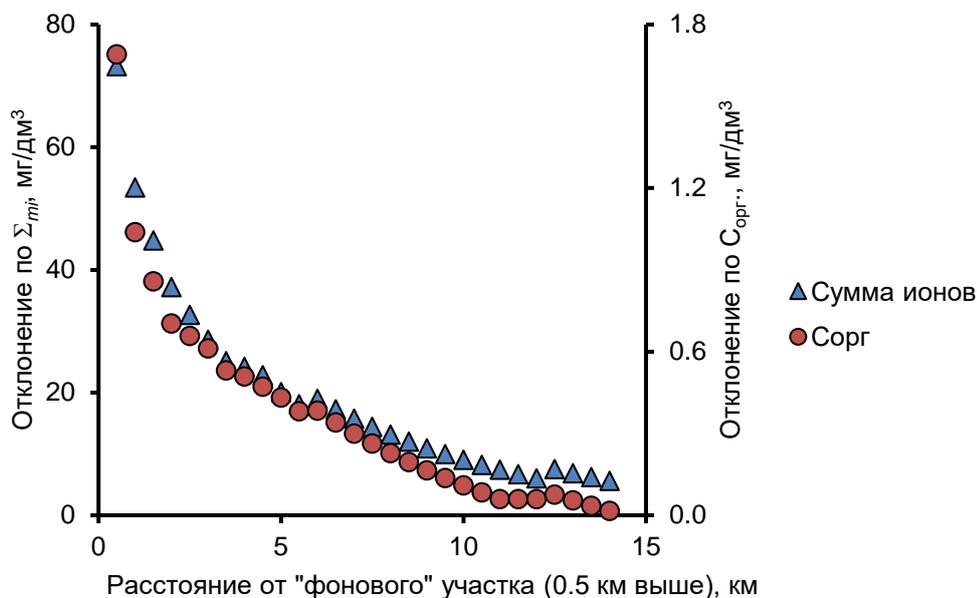


Рисунок 4.2.8 – Среднее расчётное отклонение сумм главных ионов и углерода органических соединений в водах р. Томь от «фоновых» значений в створах выше 0,5 км от выпуска стоков или устьев сильно загрязнённых притоков [Савичев, 2010]

В целом аналогичные (результатам анализа трансформации химического состава речных вод) выводы получены и для грунтовых вод в водосборе озера Поян в результате апробации модели (2.10), показавшей, что (при допущении поверхностного источника загрязнения выше фоновых концентраций, вычисленных по уравнению (2.1)) их загрязнение с большой вероятностью связано с внесением удобрений и иных добавок на сельскохозяйственных объектах, трансформацией органического вещества (как удобрений, так и растительных и животных остатков), а также с поступлением веществ с хозяйственно-бытовыми стоками населенных пунктов (табл. 4.2.4). С учетом полученных данных можно предположить, что состояние грунтовых вод улучшится при уменьшении нагрузки от диффузных источников [Soldatova et al., 2022].

Таблица 4.2.4 – Расчетные концентрации веществ  $C_w$  в водах антропогенного происхождения, предположительно поступающих в водоносный горизонт с поверхности водосбора (в скобках приведены значения  $C_w < C_b$ ) [Soldatova et al., 2022]

№	Пункт опробования грунтовых вод	Дата	Глубина $z$ , м	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
				мг/дм <sup>3</sup>		
P99	Колодец в долине р. Цзиньцзян, четвертичные отложения	01.11.2019	5,2	(0,0)	46,08	(0,00)
P97	Скважина в долине р. Юаньшуй, четвертичные отложения	01.11.2019	7,7	65,3	31,53	(0,00)
P93	Колодец (заброшенный) в прибрежной зоне оз. Поян	29.10.2019	8,4	30,0	23,17	3,66
P91	Скважина в водосборе р. Ганьцзян, поселение Фэн Чжоу (Feng Zhou)	16.05.2018	10,8	(0,0)	(0,00)	6,64
P90	Скважина в водосборе р. Ганьцзян, поселение Шан Хэкоу (Shang Hekou)	16.05.2018	18,0	(0,0)	(0,00)	19,65
P83	Колодец в водосборе р. Ганьцзян, в пойме р. Техэ (Tiehe), поселение Сяншэнь (Xiangshen)	16.05.2018	12,1	58,5	101,09	(0,00)
P83	Колодец в водосборе р. Ганьцзян, в пойме р. Техэ (Tiehe), поселение Сяншэнь (Xiangshen)	12.11.2017	12,1	126,3	156,52	(0,00)
P12	Скважина в водосборе р. Ганьцзян, поселение Сяншань (Xiangshan)	19.10.2013	16,0	54,1	115,70	5,19
P11	Скважина в водосборе р. Ганьцзян, поселение Вали (Wali)	19.10.2013	10,0	80,6	76,67	(0,00)
P8	Скважина в прибрежной зоне оз. Поян, при впадении р. Ганьцзян в озеро	18.10.2013	10,0	49,0	41,56	(0,00)

Таким образом, установлено, что поверхностные и грунтовые водные объекты в водосборе озера Поян испытывают значительное долговременное антропогенное влияние, вследствие чего их состояние оценивается как неудовлетворительное вследствие высоких содержаний целого ряда токсичных микроэлементов на отдельных участках рек и в грунтовых водах, но в многолетнем разрезе оно в целом удовлетворяет нормативам качества питьевой воды, установленным в КНР. Состояние грунтовых вод в целом несколько хуже, чем поверхностных, что объясняется более высокой способностью поверхностных вод района исследования к самоочищению вследствие выпадения малорастворимых соединений и соосаждения ряда микроэлементов на частицах речных наносов и донных отложений. Ещё один важный фактор самоочищения – биогеохимические процессы в водной среде при температуре водной среды  $>20^{\circ}\text{C}$  [Soldatova et al., 2022].

Прослеживается и влияние на состояние вод и условия их самоочищения интенсивности водообмена, которая определяет общие условия взаимодействий в системе вода–порода (время и площадь контакта, вынос продуктов реакций) и косвенно регулирует скорость и направленность биогеохимических процессов, которые, в свою очередь, регулируют содержание растворенного углекислого газа, например за счет его потребления при фотосинтезе. Тем самым это оказывает существенное влияние на карбонатную систему и, соответственно, на самоочищение поверхностных и грунтовых вод вследствие выведения малорастворимых веществ (предположительно, глинистых минералов и гидроксидов некоторых металлов) и соосаждения ряда микроэлементов [Савичев, Чжоу, 2022; Soldatova et al., 2022].

Несмотря на значительную способность к самоочищению как поверхностных, так и грунтовых вод, следует отметить необходимость не только дальнейшего повышения эффективности очистки сточных вод, но и усиления контроля за хозяйственной деятельностью в прибрежной зоне озера Поян и его притоков, а также на участках водосборной территории с недостаточно защищенными водоносными горизонтами (в отсутствие водоупоров и при достаточно высоких значениях коэффициентов фильтрации грунтов) [Soldatova et al., 2022].

В целом, на основе обобщений и анализа данных об эколого-геохимическом состоянии грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян и в других регионах Азии можно сформулировать первое защищаемое положение: **условия самоочищения грунтовых и речных вод в целом улучшаются при одновременном увеличении водного стока и температуры воды и выравнивании их внутригодового распределения, что способствует росту интенсивности биогеохимических процессов, осаждению малорастворимых соединений, соосаждению ряда химических элементов (W, Hg, Mo, V, Ni, Sb, Cd и др.) и выносу загрязняющих веществ; соответственно, условия самоочищения обычно наилучшие в**

**регионах с теплым и влажным климатом, наихудшие – в аридных регионах как с холодным, так и с теплым климатом.**

## **5. Анализ взаимосвязей между условиями самоочищения грунтовых вод и их водным режимом**

Анализ взаимосвязей между условиями самоочищения грунтовых вод и их водным режимом представляет собой весьма трудоемкую работу, сопряженную с необходимостью решения целого ряда вспомогательных задач, например, проведения опытно-фильтрационных работ с выделением горизонтов опробывания, проведения режимных наблюдений и т.д. По этой причине для получения общего представления о характере подобных связей был проведен синтез результатов исследований, выполненных как непосредственно в водосборе озера Поян (КНР), так и в подтаежной подзоне юга Западной Сибири (юг Томской области, РФ). В первом случае использованы данные исследований в 2013 – 2019 гг., опубликованные в [Солдатова, 2016; Soldatova et al., 2021, 2022], и материалы, полученные автором совместно с Ян Хэн в октябре 2022 г., а во втором – результаты изучения родников в г. Томске (РФ) и эксперимента на Обском болоте [Пасечник и др., 2022; Савичев, Ян Хэн, Чжоу Дань, 2022].

### **5.1. Связи между водным стоком, морфометрическими характеристиками областей питания и химическим составом подземных вод в г. Томске (РФ) и в водосборе озера Поян (КНР)**

В 2020–2021 г. группой исследователей отделения геологии ТПУ было выполнено исследование родниковых вод в г. Томске, на территории, расположенной на границе гидрогеологических структур I порядка – Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) и Алтае-Саянской гидрогеологической складчатой области (АСГСО). Гидрогеологические условия в пределах обеих структур характеризуются наличием двух гидрогеологических этажей. В границах г. Томска верхний этаж в обоих случаях представляет собой толщу отложений четвертичного, неогенового, палеогенового и мелового возраста, к которым приурочены безнапорные и напорные подземные воды. На левом берегу р. Томи (со стороны ЗСАБ) в основании этой толщи расположен региональный водоупор верхнемелового-палеогенового возраста, на правом – палеозойские образования (рис. 5.1.1).

Рассмотренные авторами родники на территории г. Томска расположены на правом берегу р. Томи, причем их можно сгруппировать территориально: 1) родники в долине р. Ушайки (приток р. Томи) и ее притока; 2) родники непосредственно в долине р. Томи на участке от р. Басандайки до микрорайона Лагерный Сад, к которому приурочен выход палеозойских (карбонных) образований на поверхность в русле и пойме р. Томи (мыс «Боец»); 3) родники непосредственно в долине р. Томи на участке от микрорайона Лагерный Сад до устья р. Ушайки;



Таблица 5.1.1 – Площади поверхностных водосборов ( $A$ ), дебиты родников ( $q$ ), рН и химический состав родниковых вод в г. Томске 01.10.2020 г. (10b, 11b, 12b) и 23.06.2021 г. (1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 11a, 12a, 9a, 10a, 14a, 15a, 16a, 17a) [Пасечник и др., 2022]

Комплекс	Номер	Наименование родника, привязка	$A$ , км <sup>2</sup>	$q$ , л/с	рН, ед. рН	CO <sub>2</sub>	$\Sigma_{mi}$	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Фосфаты	Si	Fe	НП	ПО	БО	Классификация
						мг/дм <sup>3</sup>										мгО/дм <sup>3</sup>	
1	1a	Без названия, ул. Сычева, 40	0,90	0,39	7,36	15,8	887,4	81,0	29,0	37,00	0,03	8,13	0,015	0,007	0,84	8,43	С-Са-III
1	2a	Родник Ближний	0,10	0,05	7,20	7,0	350,7	14,0	1,7	0,84	0,03	6,40	0,058	0,003	0,54	1,73	С-Са-I
1	3a	Без названия, ул. Ивановского	0,50	0,14	7,27	10,6	594,3	7,2	43,0	39,20	0,23	7,84	0,010	0,004	0,72	3,01	С-Са-III
1	17a	Родник «Весенний»	0,17	нд	7,43	8,8	630,3	5,1	5,3	0,20	0,12	7,55	0,045	0,002	0,94	2,99	С-Са-II
1	15a	Родник Ключевской 1	0,52	0,06	7,12	31,7	981,3	56,0	74,7	40,90	0,06	10,16	1,810	0,004	0,88	2,10	С-Са-II
1	16a	Родник Ключевской 2	0,52	0,09	7,22	17,6	922,1	67,0	53,0	56,00	0,03	9,88	0,040	0,004	0,72	2,39	С-Са-III С
1	11a	Родник «Магистратский»	0,87	0,11	7,12	35,0	1250,4	68,0	121,0	132,00	0,20	10,30	0,130	0,008	2,36	8,33	С-Са-III
1	12a	Родник «Святой ключ»	0,87	0,15	7,09	31,7	1205,2	91,0	73,0	167,00	0,05	9,02	0,021	0,003	1,68	5,38	С-Са-III
2	14a	Родник «Людмилиин ключ»	0,10	нд	7,47	7,0	501,1	5,1	21,8	27,30	0,26	8,43	0,330	0,003	0,38	1,45	С-Са-I
3	9a	Родник «Университетский»	0,15	0,72	7,06	14,0	750,0	62,0	35,0	39,00	0,33	10,10	0,120	0,022	1,14	1,52	С-Са-II
3	10a	Родник «Ренкуль»	0,14	нд	7,38	17,6	796,2	68,0	40,0	25,50	0,50	9,87	0,260	0,004	0,82	1,68	С-Са-II
3	10b	Родник «Флоринский»	0,12	нд	8,10	1,5	743,9	59,0	45,0	5,20	нд	нд	0,550	нд	3,28	нд	С-Са-III
3	11b	Родник «Святой Анны»	0,20	нд	7,95	5,3	764,3	56,0	60,0	9,30	нд	нд	0,170	нд	1,42	нд	С-Са-III
3	12b	Родник «Дионисия»	0,07	нд	7,50	40,1	674,0	53,0	23,0	22,80	нд	нд	0,210	нд	1,88	нд	С-Са-III
4	4a	Родник «Дальний», п. Тихий	2,00	1,15	7,04	19,4	1533,7	130,0	95,0	59,50	0,09	9,38	0,035	0,005	1,92	12,40	С-Са-III
4	5a	Без названия, п. Чехова	0,40	1,18	7,09	22,9	1192,3	77,0	179,0	82,00	0,07	11,06	0,068	0,004	0,82	1,04	С-Са-III
4	6a	Божья роса, п. Островского	0,20	0,28	7,02	22,9	1066,1	69,0	60,0	94,60	0,13	10,10	0,081	0,003	1,18	7,85	С-Са-III

Примечание:  $S(mi)$  – сумма главных ионов (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>); ПО и БО – перманганатная и бихроматная окисляемость; НП – нефтепродукты;

«нд» – отсутствие данных; \* классификация по О.А. Алекину

Таблица 5.1.2 – Значимые коэффициенты корреляции между площадью поверхностных водосборов и гидрогеохимическими показателями родников и погрешности их определения [Пасечник и др., 2022]

Показатель	Коэффициент корреляции $r$	Погрешность определения коэффициента корреляции $\delta_r$
ЕС	0,65	0,15
$\Sigma_{mi}$	0,77	0,10
$\text{Ca}^{2+}$	0,74	0,11
$\text{Mg}^{2+}$	0,62	0,16
$\text{Na}^+$	0,50	0,19
$\text{HCO}_3^-$	0,82	0,08
$\text{SO}_4^{2-}$	0,69	0,13
$\text{Cl}^-$	0,43	0,20
$\text{NO}_3^-$	0,45	0,20
ВО	0,81	0,09

Примечание:  $\Sigma_{mi}$  – сумма главных ионов; ЕС – удельная электропроводность; ВО – бихроматная окисляемость в 14 пробах в 2021 г.; для прочих показателей использовались данных 17 измерений в 2020 и 2021 гг.

По минерализации и химическому составу воды комплекса родников №1 по состоянию на 2020–2021 гг. солоноватые и пресные с повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые первого, второго и третьего типов, по рН – нейтральные; воды комплекса № 2 без явного загрязнения – пресные с повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые I типа, нейтральные; воды комплекса № 3 – солоноватые и пресные с повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые II и III типов, нейтральные и слабощелочные; воды комплекса № 4 – солоноватые, гидрокарбонатные кальциевые III типа, нейтральные. В сравнении с подземными водами прилегающих территорий изученные родники в составе комплекса № 4 ближе всего по составу к водам верхнемеловых отложений Обь-Томского междуречья (с учетом значений более 1,0–1,5 г/дм<sup>3</sup>). В прочих случаях имеет место смешение верховодки, грунтовых вод четвертичных отложений, подземных вод в отложениях палеогена и зоны трещиноватости в палеозойских образованиях. Загрязнение подземных вод проявляется в повышении значений ПО, БО, суммы главных ионов и концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , фосфатов [Пасечник и др., 2022].

Вследствие дефицита гидрогеологической информации, сложного геологического строения городской территории и специфики ее застройки, сопровождавшейся перестраиванием

гидрографической сети, специалистами ТПУ (Пасечник Е.Ю., Савичев О.Г., Чилингер Л.Н.) была выполнена оценка площадей поверхностных водосборов и их сопоставление с наблюдаемыми значениями гидрогеохимических показателей. Полученные при этом результаты в целом позволяют говорить о статистически значимом увеличении суммарного содержания растворенных солей, бихроматной окисляемости и нитратов в родниковых водах при росте площади поверхностного водосбора  $A$  (табл. 5.1.2). С большой вероятностью, в условиях северо-западной части АСГСО это указывает на увеличение дренированности территории при увеличении величины  $A$  в случае суммы главных ионов, концентраций  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , а в случае  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{BO}$  – предположительно, на вынос с городской территории песко-соляной смеси, органических остатков и продуктов их трансформации после дождей и в период снеготаяния.

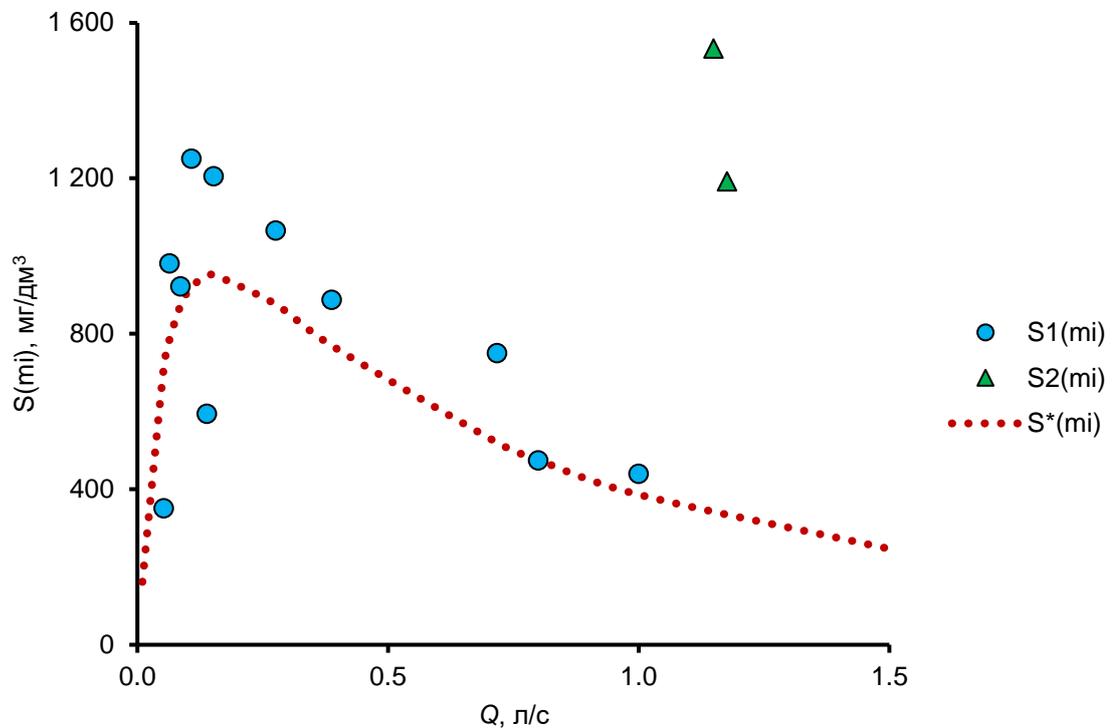


Рисунок 5.1.2 – Изменение суммы главных ионов  $S(mi)$  в пробах родниковых вод в зависимости от дебита родников  $Q$ :  $S2$  – пробы из родников 4а и 5а;  $S1$  – пробы из прочих родников;  $S^*(mi)$  – расчет по модели (5.1.3) с параметрами:  $C_0=811,0$  мг/дм<sup>3</sup>;  $Q_0 = 0,34$  л/с;  $k_0=7,515$ ;  $k_1=-7,922$ ;  $k_2=0,066$ ;  $R^2=0,46$  [Пасечник и др., 2022]

Менее очевидна связь гидрогеохимических показателей с дебитами родников, хотя согласно [Савичев, Нгуен, 2015; Savichev et al., 2019; Савичев, 2021], обычно наблюдается обратная связь вследствие увеличения времени взаимодействия горных пород с водой и, как следствие, роста минерализации вод при снижении интенсивности водообмена. Тем не менее, отмеченный выше факт имеет вполне понятные объяснения, в соответствии с которыми

изменение концентрации  $C$  в зависимости от расхода воды  $Q$  описывается следующим образом [Савичев, Нгуен, 2015; Savichev et al., 2019; Савичев, 2021]:

$$\frac{dC}{dQ} = k_Q \cdot \frac{C}{Q}, \quad (5.1.1)$$

$$k_Q = k_0 + k_1 \cdot \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{k_2}, \quad (5.1.2)$$

$$Y = X^{k_0} \cdot \exp\left(\frac{k_1}{k_2} \cdot (X^{k_2} - 1)\right), \quad (5.1.3)$$

где  $k_Q$ ,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  – эмпирические коэффициенты;  $Y=C/C_0$  и  $X=Q/Q_0$  – модульные коэффициенты концентрации и расхода воды;  $C_0$  и  $Q_0$  – математическое ожидание концентрации вещества и расхода воды. Общий смысл (5.1.3) зависимости заключается в том, что наиболее значительные изменения химического состава речных вод приурочены к очень малым значениям модулей водного стока, характерным для начальных стадий формирования склонового, подповерхностного и подземного стока. В частности, для родников г. Томска этот диапазон ограничен значениями дебитов до 0,10–0,15 л/с, свыше которых связь с суммой главных ионов приобретает вид обратной степенной зависимости (рис. 5.1.3).

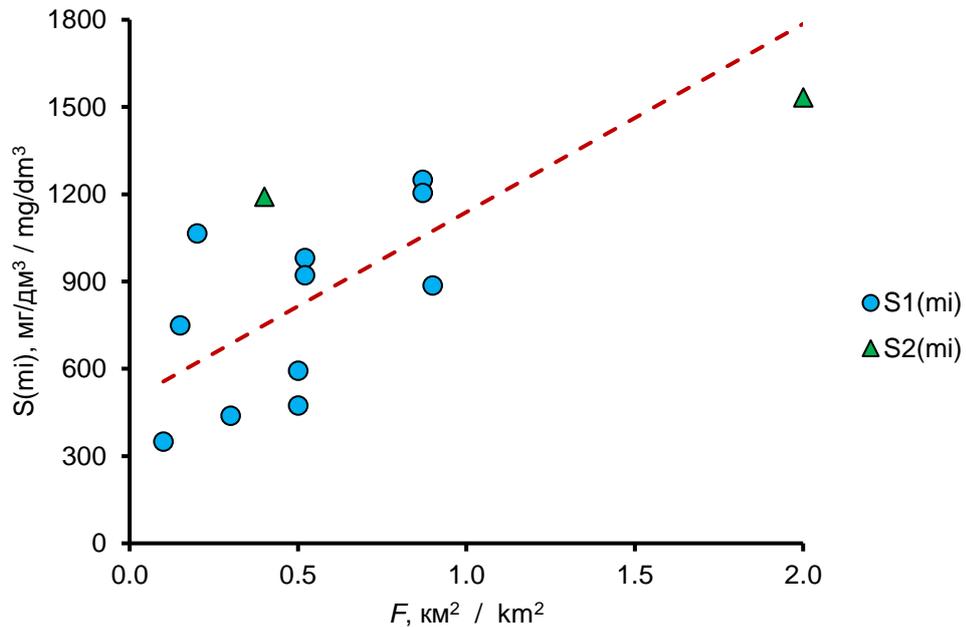


Рисунок 5.1.3 – Изменение суммы главных ионов  $S(mi)$  в пробах родниковых вод в зависимости от площади поверхностного водосбора  $F$ : S2 – пробы из родников 4а и 5а; S1 – пробы из прочих родников; пунктиром показано уравнение регрессии:  $S(mi) = (491,54 \pm 161,56) + (647,11 \pm 285,32) \cdot A$ ;  $R^2 = 0,36$ ;  $N = 11$  (без родников 4а и 5а); с родниками 4а и 5а ( $N = 13$ ):  $S(mi) = (595,70 \pm 121,11) + (498,42 \pm 157,50) \cdot A$ ;  $R^2 = 0,48$  [Пасечник и др., 2022]

Некоторое исключение при этом составляют только два родника из комплекса № 4, данные по которым, тем не менее, укладываются в общую зависимость увеличения с ростом площади поверхностного водосбора (рис. 5.1.3), а зафиксированные отклонения объясняются перераспределением поверхностных и подземных потоков при строительстве и эксплуатации свайных фундаментов, дорожной сети, систем водоотведения и водоснабжения, в результате чего существующий родник стал местом разгрузки подземных вод с большей территории и более глубоких горизонтов с солоноватыми подземными водами [Пасечник и др., 2022].

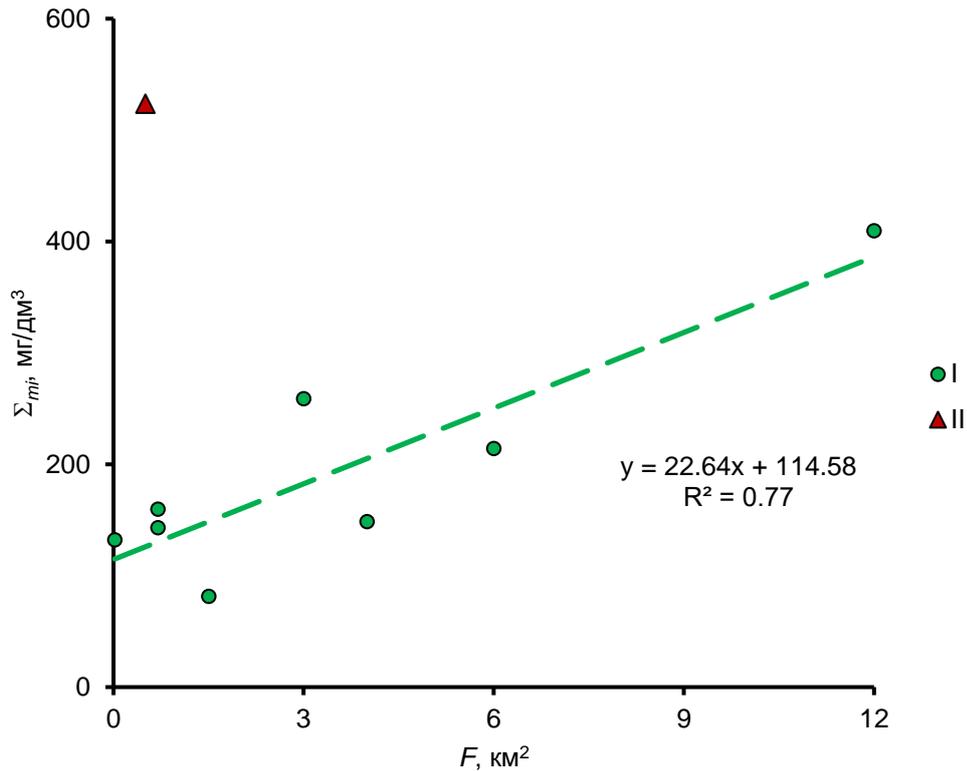


Рисунок 5.1.4 – Изменение суммы главных ионов  $\Sigma_{mi}$  в пробах подземных вод в воосборе озера Поян в зависимости от площади поверхностного водосбора  $F$ ; пробоотбор выполнен Е.А. Солдатовой и др. (2013 – 2019 гг.), Чжоу Дань и Ян Хэн (2022 г.): I – пункты р93 (2019 г.), р97 (2019 г.), р99 (2019, 2022 гг.), р01, з02 (2022 г.), р2 (2013 г.), з20 (2013 г.); II – пункт р13 (2013 г.) среди рисовых полей между протоками

Аналогичный вывод можно сделать и по результатам анализа состояния грунтовых вод в водосборе озера Поян (рис. 5.1.4) – при увеличении площади области питания в целом возрастает и степень дренированности более глубоких горизонтов с меньшей интенсивностью водообмена и, как следствие, большим общим содержанием растворённых солей. В рассматриваемом случае также имеются некоторые исключения (рис. 5.1.4), предположительно связанные с антропогенным влиянием (поступлением удобрений с поверхности сельскохозяйственных

угодий). Но это определяет и возможность ориентировочной оценки антропогенного загрязнения в зависимости от степени отклонения от уравнения связи между суммой главных ионов и площадью области питания, устанавливаемого для каждого региона с конкретными природными и антропогенными условиями.

## **5.2. Условия распространения загрязняющих веществ в геосреде (на примере Обского болота, Западная Сибирь)**

В рамках изучения процессов миграции загрязняющих веществ в геосреде в Томском политехническом университете был проведён эксперимент по изучению распространения индикаторного раствора NaCl (исходная концентрация раствор 20 г/дм<sup>3</sup>), выпущенного 19.03.2021 г. на поверхность Обского болота (юго-восток Западной Сибири, Шегарский административный район Томской области, участок южнее с. Нащёково без явного антропогенного загрязнения), с последующим опробованием 16.10.2021 г. Схематический гидрогеологический разрез района расположения Обского болота (севернее с. Нащёково) приведен на рис. 5.1.1.

Исследования, выполненные автором совместно с Ян Хэном, О.Г. Савичевым и другими сотрудниками ТПУ, показали возможность поступления подземных вод с более высокой минерализацией и содержанием Cl<sup>-</sup> в разные месяцы гидрологического года и в разных частях Обского болота, что в общих чертах и подтверждается результатами гидрогеохимических наблюдений. Однако указанное взаимодействие подземных и болотных вод имеет потенциальный характер, а фактическое же поступление в значительной мере ограничено снижением фильтрационных свойств торфов в слое 3,50–4,25 м (рис. 5.2.1; фактическое изменение коэффициента фильтрации, предположительно, происходит с большей амплитудой).

Вследствие этого: 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 [42]; 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 переноса и минимальным диффузионным переносом.

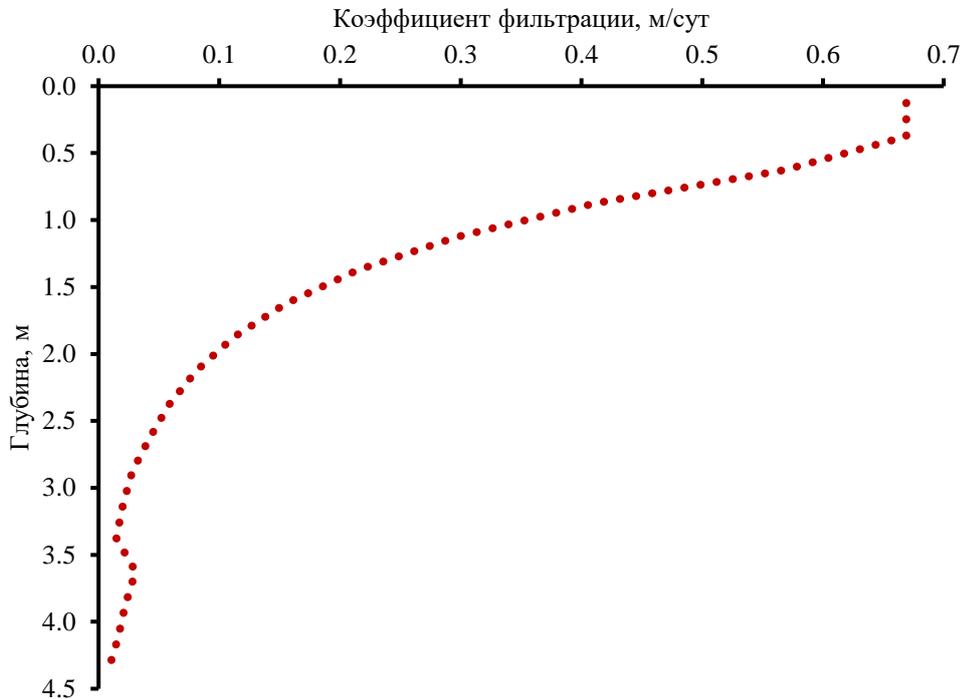


Рисунок 5.2.1 – Расчетное изменение коэффициента фильтрации торфов по глубине торфяной залежи Обского болота

С учетом указанных выше допущений и фактического распределения  $C$  в узловых точках для изучения распространения индикаторного вещества в водных вытяжках из торфов на исследуемом участке была использована одномерная стационарная модель диффузионного распространения вещества с концентрацией  $C$  в месяц  $t$  по торфяной залежи от поверхности до глубины  $z=3,0$  м в виде (5.12.1) с частным аналитическим решением (5.2.2):

$$\frac{\partial^2 C_t}{\partial z^2} + \left(\frac{k_r}{D}\right) \cdot (C_{e,t} - C_t) = 0, \quad (5.2.1)$$

$$C_{z,t} = C_{e,t} + (C_{0,t} - C_{e,t}) \cdot \exp\left(-\frac{k_r}{D} \cdot z\right), \quad (5.2.2)$$

где  $k_r$  – удельная скорость изменения концентрации вещества  $C$  в месяц  $t$  на глубине  $z$  (2.16), сут<sup>-1</sup>;  $D$  – коэффициент гидродисперсии, м<sup>2</sup>/сут;  $C_{0,t}$  – начальная концентрация в месяц  $t$ , переходящая из предыдущего месяца, оцениваемая по уравнению (5.2.3);  $C_{e,t}$  – концентрация, соответствующая равновесию в системе «болотная вода – торф – газ – минеральные отложения» с учетом процессов сорбции–десорбции и растворения–осаждения в соответствии с уравнением (5.2.4); фактически эта величина ( $C_{e,t}$ ) определена методом общего понижающего градиента по минимуму относительной ошибки:

$$C_{0,t} = \frac{dm_t}{dV_t} = \frac{m_{t-1} + C_{atm,t} \cdot \frac{Dm}{\Delta z} (C_{z1(0,125),t-1} - C_{0,t-1}) + C_{atm,t} \cdot X_{ef,t}}{V_{t-1} + X_{ef,t}}, \quad (5.2.3)$$

$$C_{e,t} = \frac{k_{pM} \cdot C_{eq} + k_s \cdot S}{k_{pM} + k_s \cdot k_{cs} \cdot (S_m - S)}, \quad (5.2.4)$$

где  $dm_t$  и  $dV_t$  – изменение массы и объема вещества на поверхности болота в месяц  $t$ , начальная масса и объем в марте 2021 г. определены как сумма показателей содержаний  $Cl^-$  в исходном растворе  $NaCl$  и эффективных месячных атмосферных осадков;  $C_{atm,t}$  – концентрация индикатора в месяце  $t$  (по наблюдениям в 2021 г. содержание  $Cl^-$  ориентировочно принято в талых снеговых водах  $12,3 \text{ мг/дм}^3$ , в дождевых –  $6,1 \text{ мг/дм}^3$ );  $\Delta z$  – интервал опробования ( $0,25 \text{ м}$ );  $k_{pM}$ ,  $k_s$ ,  $k_{cs}$  – коэффициенты, характеризующие условия взаимодействия воды с торфом и минеральными отложениями;  $C_{eq}$  – концентрация вещества в воде (водной вытяжке), соответствующая локальному равновесию;  $S$  и  $S_m$  – фактическая и максимально возможная концентрация вещества в грунте (кислотной вытяжке); более подробная информация о структуре и параметрах модели приведена в [Савичев, Ян, Чжоу, 2022].

Значение критерия (2.11) по вычисленным и измеренным поинтервальным содержаниям  $Cl^-$  в водных вытяжках их торфов составило  $0,04$ , что может свидетельствовать об удовлетворительном описании конечного состояния торфяной залежи (рис. 5.2.2).

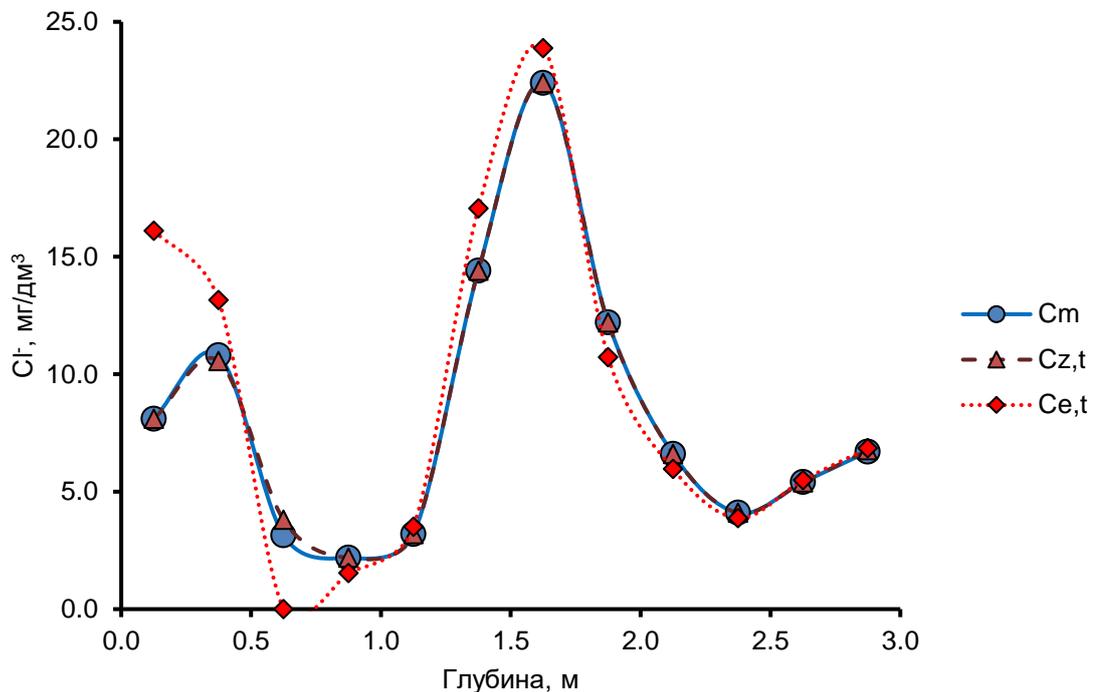


Рисунок 5.2.2. – Измеренные ( $C_m$ ) и расчетные концентрации  $Cl^-$  в водных вытяжках из торфов по глубине торфяной залежи 16.10.2021;  $C_{z,t}$  – расчётная концентрация по уравнению (5.2.2) с учетом времени, критерий качества (2.11)  $S/\sigma=0,04$ ;  $C_{e,t}$  – расчётная концентрация по уравнению (5.2.4) для стационарного распределения по глубине, критерий качества (2.11)  $S/\sigma=0,51$  (при

значении  $S/\sigma < 0,8$  методика моделирования характеризуется как «удовлетворительная», при  $S/\sigma < 0,51$  – «хорошая» [Бефани, Калинин, 1983])

При этом получена достаточно неожиданная картина распределения концентраций  $Cl^-$  по глубине торфяной залежи по месяцам. Так, резкое снижение содержаний отмечается уже в апреле. Однако в последующие месяцы при отсутствии дополнительного поступления раствора наблюдаются заметные колебания, связанные с «подтягиванием» навверх водной массы при увеличении дождевых осадков и «опусканием» вниз при преобладании испарения (рис. 5.2.3).

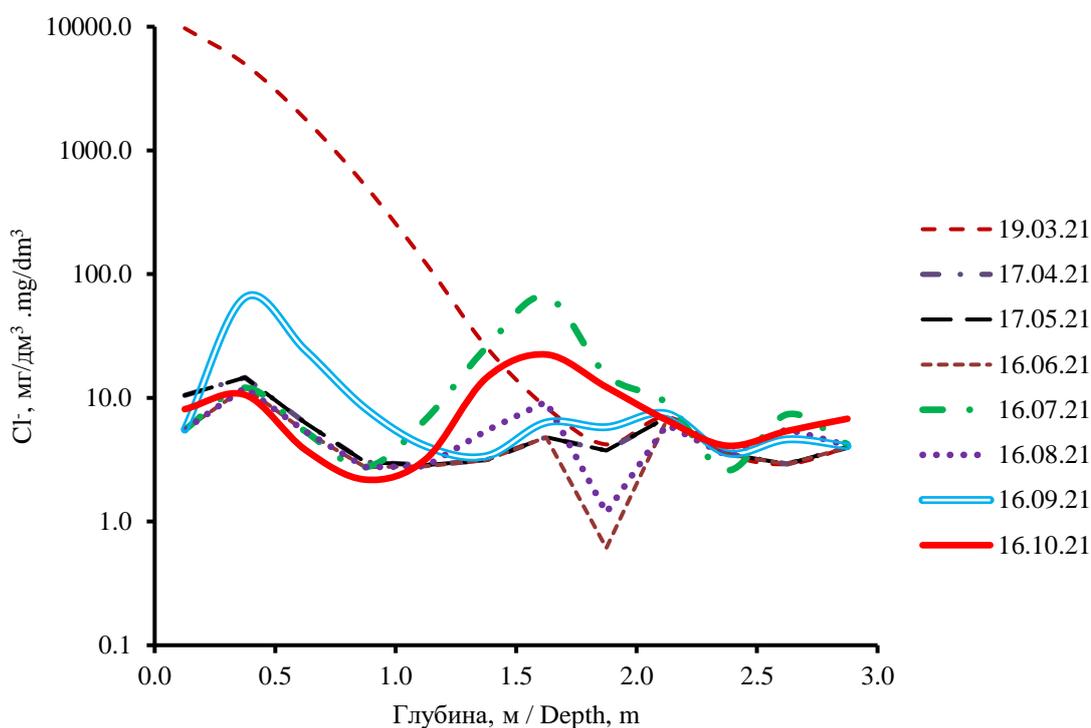


Рисунок 5.2.3. – Расчетные изменения концентраций  $Cl^-$  в водных вытяжках из торфов по глубине торфяной залежи с 19.03.2021 до 16.10.2021; 16.10.2021 г. – измеренные значения [Савичев, ян, Чжоу, 2022]

Таким образом, текущее состояние болотных вод определяется не только начальным загрязнением, но и водным режимом болота. Однотипность основных процессов в минеральных грунтах и торфах позволяют распространить этот вывод на грунтовые воды (как на юге Томской области, так и в водосборе озера Поян) и, с учётом результатов гидрогеохимических исследований в г. Томске и в водосборе озера Поян, сформулировать *второе защищаемое положение*: **снижение качества грунтовых вод на селитебных территориях может быть связано как с прямым их загрязнением, так и изменением режима и стока грунтовых вод**

**вследствие сезонных и многолетних изменений инфильтрации, потерь из водоводов, барражного эффекта при строительстве и изменения границ поверхностных и подземных водосборов.**

## 6. Оценка допустимого поступления загрязняющих веществ в грунтовые и поверхностные водные объекты

### 6.1. Фоновый состав грунтовых вод

Ключевой подход к практическому использованию данных об условиях самоочищения и нормированию воздействий на грунтовые воды заключается в определении: 1) геохимического фона; 2) отклонений от этого фона, интерпретируемых как геохимические аномалии природного или антропогенного происхождения. При этом под геохимическим фоном часто понимается содержание вещества в компоненте окружающей среды, сформированное при типичных для исследуемого ландшафта условиях за исключением воздействия какого-либо специфического (обычно – антропогенного) фактора. Например, в геохимии поверхностных вод используется определение фоновой концентрации вещества  $C_b$  в воде водотока как концентрации, вычисленной по верхнему пределу погрешности определения среднего арифметического в фоновом створе водного объекта (на расстоянии не далее 0,5 км от источника) при расчётных условиях и с учётом всех источников примесей, кроме рассматриваемого [РД 52.24.622-2019]:

$$C_b = C_a + \frac{k_{S,\alpha} \cdot \sigma}{\sqrt{N}}, \quad (6.1.1)$$

где  $C_a$  и  $\sigma$  – среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонение, рассчитанные для наиболее неблагоприятного гидрологического периода (с наименьшими концентрациями растворённого кислорода и наибольшими – прочих веществ);  $k_{S,\alpha}$  – критическое значение коэффициента Стьюдента при уровне значимости 5 %;  $N$  – объём выборки.

В поисковой геохимии фоновые концентрации могут быть рассчитаны как среднее геометрическое или верхний предел определения среднего геометрического (формула (2.1) [Инструкция..., 1983]), что является более обоснованным способом аппроксимации геохимического фона с учётом базовых положений химической термодинамики и методологии их применения в геохимии. В частности, в ряде случаев допустимо предположение о том, что состояние системы в целом неравновесно, но отдельные её части квазиравновесны и имеют термодинамические параметры, время изменения которых больше времени релаксации в этих частях и намного меньше времени, за которое устанавливается равновесие во всей системе. Пусть в отдельной малой подсистеме протекает  $M$  химических реакций с участием  $L$  веществ, которые можно объединить в одну суммарную реакцию. Тогда для определения концентрации какого-либо исследуемого вещества  $C_x$  можно записать выражение:

$$\ln C_x \approx b_0 - \sum_j^L b_j \ln C_j, \quad (6.1.2)$$

где  $b_0$ ,  $b_j$  – константы. Если вероятность величины  $\ln C$  стремится к  $1/N$  (где  $N$  – количество реализаций  $\ln C$ ), то математическое ожидание концентрации вещества  $C_x$  может быть

аппроксимировано средним геометрическим, вычисленным для статистически однородного по условиям проявления внешних факторов периода. Применительно к водным объектам оценка этого периода может быть получена для однородного периода по расходам воды, исходя из упрощенной модели (5.1.3) колебания концентрации вещества относительно некоторого устойчивого состояния  $C_0$  [Савичев, 2010].

С учётом этого Савичевым О.Г. [Савичев, 2010] фоновая концентрация вещества в водной среде в общем случае рассматривается как математическое ожидание в сложившихся природно-антропогенных условиях, которое может быть рассчитано как среднее геометрическое за гидрологически однородный период с учётом погрешности его определения (2.1). Но, принимая во внимание структуру уравнений (2.17, 2.18) и удовлетворительную сходимость измеренных и вычисленных концентраций растворённых веществ, нами предлагается рассматривать фоновый уровень содержания веществ в водном объекте как математическое ожидание концентрации, формирующейся в результате процессов растворения – осаждения и сорбции – десорбции и определяемой интенсивностью водообмена, сорбционной способностью водовмещающих грунтов, их химическим и гранулометрическим составом.

Соответственно: 1) среднее геометрическое содержание  $C_g$  в гидрогеохимических расчётах может использоваться как региональная оценка величины  $C_{eq}$  в уравнении (2.18), а собственно величина  $C_e$  – как оценка природно-антропогенного фона в конкретном створе (пункте) в определённый момент времени; 2) экспресс-оценка текущих антропогенных изменений на конкретном участке водного объекта может включать расчёт величины  $C_{eq}$  по уравнению (2.18) и заранее полученным данным о составе воды и водных вытяжек из водовмещающих (донных) отложений; 3) в программу мониторинга состояния водного объекта следует включать опробование не только воды (подземной или поверхностной), но и водовмещающих грунтов в случае изучения подземных водных объектов или донных отложений в случае поверхностных; 4) принимая во внимание сложность отбора проб водовмещающих грунтов, подобные исследования их гранулометрического, химического и минерального состава должны выполняться в обязательном порядке при организации пункта наблюдений (эксплуатационной или режимной гидрогеологической скважины, колодца); отбор проб воды из родников целесообразно совмещать с отбором проб отложений при условии ненанесения ущерба исследуемому объекту; 5) в рамках водохозяйственной деятельности целесообразно использовать результаты оценки отклонения фактических концентраций от величины  $C_e$  по уравнению (2.18) для корректировки ежегодных природоохранных планов водопользователей, а оценку аддитивного воздействия на здоровье человека или гидробионтов и экологического ущерба следует проводить по уравнению (2.2) с использованием величины  $C_b$ .

При этом необходимо отметить, что, во-первых, смысл использования величины  $C_b$  – преимущественно экономический, а именно – предотвратить избыточное давление на водопользователя с учётом возможных ошибок и особенностей методов исследования состава вод. Во-вторых, анализ результатов расчета концентраций  $C_b$  в грунтовых и речных водах в водосборе озера Поян по формуле (2.1) показал, что превышение нормативов качества, установленных в КНР для вод хозяйственно-питьевого назначения, эпизодически отмечается для содержаний W, Hg, Mo, Br, As, Fe [Soldatova et al., 2022].

## 6.2. Допустимый сброс загрязняющих веществ в водные объекты

В настоящее время отсутствуют утверждённые методики определения допустимого химического воздействия на подземные и болотные воды, а для оценки допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах  $C_{w,lim}$ , сбрасываемых в поверхностные водотоки и водоёмы, используется простейшая модель [Савичев, 2021]:

$$C_{w,lim} = n_s \cdot \left( \frac{C_{lim}}{f(C)} - C_b \right) + C_b, \quad (6.2.1)$$

где  $C_{lim}$  – предельно допустимая концентрация (ПДК);  $C_b$  – фоновая концентрация в водном объекте;  $n_s$  – кратность разбавления;  $f(C)$  – функция источника, например  $f(C) = \exp(-k_c \cdot C)$ . Использование этой модели привязано к ПДК и сопряжено с необходимостью определения большого количества дополнительных параметров, что заметно усложняет расчёт  $C_{w,lim}$  и во многих случаях приводит к необоснованно жёсткому условию  $C_{w,lim} \leq C_{lim}$ . С учётом этого в ТПУ разработан подход к определению допустимой концентрации веществ в сточных водах  $C_{w,lim}$  на основе сравнения двух выборок объёмом  $N$  в условно фоновом  $C_b$  и нарушенном  $C_x$  состояниях и использования условия, полученного путём преобразования критерия Стьюдента к виду [Савичев, 2010, 2021]:

$$C_{w,lim} \leq C_b \cdot \left( \frac{n_s}{f(C)} - n_s + 1 \right) + \frac{n_s}{f(C)} \cdot k_{S,\alpha} \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{N}}, \quad (6.2.2)$$

Величина  $n_s$  для уже существующих предприятий может быть определена по данным наблюдений за предшествующий период действия норматива допустимых сбросов, а для проектируемых выпусков – по нормативным значениям или равным единице (в предположении, что в контрольном створе водного объекта максимальная концентрация вещества равна его концентрации в сточных водах). Функция источника  $f(C)$  для грунтовых вод может быть принята в виде:

$$f(C) = \exp\left(-\frac{k_r}{D} \cdot z\right). \quad (6.2.3)$$

Если предположить, что  $\delta = \frac{\sigma}{C_b \cdot \sqrt{N}} = \beta = 0,2$  (погрешность в размере 20% или 0,2 в долях единицы обычно принимается при водохозяйственных расчётах при отсутствии измерений

[Медиорация..., 1983]), а для уровня значимости 5% (при стремлении к бесконечности)  $k_{S,\alpha}=1,96$ , то выражение для оценки допустимой концентрации вещества, которая при поступлении в водоносный горизонт не приведет к статистически значимому (с уровнем значимости 5%) ухудшению качества вод, имеет вид:

$$C_{ws,lim} = C_b \cdot (1 + 1,96 \cdot \sqrt{2} \cdot \beta) = 1,55 \cdot C_b. \quad (6.2.4)$$

Используя изложенный выше подход для наихудших условий разбавления сточных вод (при условии  $f(C)=1$  и  $n_s=1$ ) и данные о фоновых концентрациях веществ (табл. 4.1.1) автором определены минимальные допустимые концентрации веществ в сточных водах или антропогенных водах, накапливающихся на поверхности водосбора (табл. 6.2.1). При поступлении в водоносные горизонты и реки загрязняющих веществ в таких концентрациях устойчивое (длительное и статистически значимое) ухудшение качества вод маловероятно, а тип воды по О.А. Алёкину не меняется (табл. 6.2.1). Соответственно, интегральной характеристикой антропогенного воздействия могут быть не только критерии (2.2, 2.3), но и изменчивость типа воды (или отсутствие изменений).

Таблица 6.2.1– Фоновые концентрации растворенных веществ в грунтовых и речных водах и минимальные допустимые концентрации в сточных водах (при наихудших условиях самоочищения) в водосборе озера Поян

Показатель	Единицы измерения	Грунтовые воды		Речные воды	
		Фон $C_{b(g)}$	Допустимая концентрация в стоках $C_{w,lim(g)}$	Фон $C_{b(r)}$	Допустимая концентрация в стоках $C_{w,lim(r)}$
$\Sigma mi$	мг/дм <sup>3</sup>	213,3	331,6	182,6	283,8
$Ca^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	23,8	37,0	27,8	43,2
$Mg^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	6,9	10,8	3,6	5,6
$Na^+$	мг/дм <sup>3</sup>	16,2	25,2	14,9	23,2
$K^+$	мг/дм <sup>3</sup>	7,5	11,7	3,0	4,7
$HCO_3^-$	мг/дм <sup>3</sup>	92,9	144,4	86,3	134,1
$Cl^-$	мг/дм <sup>3</sup>	23,6	36,7	18,0	27,9
$SO_4^{2-}$	мг/дм <sup>3</sup>	19,5	30,3	29,6	46,0
$NO_3^-$	мг/дм <sup>3</sup>	15,868	24,664	3,200	4,973
$NO_2^-$	мг/дм <sup>3</sup>	0,010	0,016	0,010	0,016

Продолжение таблицы 6.2.1

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,580	0,901	0,243	0,378
Фосфаты	мг/дм <sup>3</sup>	0,095	0,147	0,134	0,208
P (ICP MS)	мг/дм <sup>3</sup>	0,030	0,046	0,076	0,118
Si	мг/дм <sup>3</sup>	10,51	16,34	5,35	8,31
F <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,18	0,28	0,39	0,61
Fe	мг/дм <sup>3</sup>	0,091	0,141	0,270	0,420
Li	мкг/дм <sup>3</sup>	1,61	2,51	62,10	96,53
Al	мкг/дм <sup>3</sup>	8,1	12,6	109,2	169,7
Sc	мкг/дм <sup>3</sup>	0,60	0,93	0,27	0,42
Ti	мкг/дм <sup>3</sup>	0,57	0,89	4,85	7,53
V	мкг/дм <sup>3</sup>	0,37	0,58	1,82	2,83
Cr	мкг/дм <sup>3</sup>	1,40	2,17	0,87	1,35
Mn	мкг/дм <sup>3</sup>	131,1	203,7	245,3	381,3
Co	мкг/дм <sup>3</sup>	0,14	0,22	0,12	0,18
Ni	мкг/дм <sup>3</sup>	1,88	2,92	1,15	1,79
Cu	мкг/дм <sup>3</sup>	1,59	2,47	1,40	2,17
Zn	мкг/дм <sup>3</sup>	11,66	18,13	6,22	9,66
Ga	мкг/дм <sup>3</sup>	0,036	0,056	0,067	0,105
Ge	мкг/дм <sup>3</sup>	0,025	0,039	0,019	0,029
As	мкг/дм <sup>3</sup>	0,262	0,407	2,108	3,277
Se	мкг/дм <sup>3</sup>	1,571	2,441	1,419	2,205
Br	мкг/дм <sup>3</sup>	50,37	78,29	226,93	352,73
Rb	мкг/дм <sup>3</sup>	45,75	71,11	17,59	27,34
Sr	мкг/дм <sup>3</sup>	85,9	133,6	105,1	163,4
Y	мкг/дм <sup>3</sup>	1,455	2,261	0,489	0,760
Zr	мкг/дм <sup>3</sup>	0,006	0,009	0,015	0,024
Nb	мкг/дм <sup>3</sup>	0,005	0,007	0,003	0,004
Mo	мкг/дм <sup>3</sup>	0,152	0,236	1,366	2,123
Ru	мкг/дм <sup>3</sup>	0,004	0,006	0,003	0,004
Rh	мкг/дм <sup>3</sup>	0,002	0,004	0,002	0,003
Pd	мкг/дм <sup>3</sup>	0,006	0,009	0,003	0,004
Ag	мкг/дм <sup>3</sup>	0,014	0,021	0,003	0,004

Cd	мкг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,002	0,018	0,027
In	мкг/дм <sup>3</sup>	0,002	0,003	0,001	0,001
Sn	мкг/дм <sup>3</sup>	0,218	0,340	0,023	0,036
Sb	мкг/дм <sup>3</sup>	0,077	0,120	0,357	0,555
Te	мкг/дм <sup>3</sup>	0,009	0,015	0,003	0,004
I	мкг/дм <sup>3</sup>	17,62	27,38	21,81	33,90
Cs	мкг/дм <sup>3</sup>	0,53	0,82	0,78	1,21
Ba	мкг/дм <sup>3</sup>	147,10	228,65	29,51	45,87
Lu	мкг/дм <sup>3</sup>	0,005	0,008	0,008	0,013
Hf	мкг/дм <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,001	0,002
Ta	мкг/дм <sup>3</sup>	0,005	0,008	0,008	0,013
W	мкг/дм <sup>3</sup>	0,074	0,115	0,755	1,173
Re	мкг/дм <sup>3</sup>	0,019	0,030	0,009	0,014
Ir	мкг/дм <sup>3</sup>	0,004	0,006	0,003	0,004
Pt	мкг/дм <sup>3</sup>	0,003	0,004	0,003	0,005
Au	мкг/дм <sup>3</sup>	0,005	0,008	0,003	0,004
Hg	мкг/дм <sup>3</sup>	0,035	0,054	0,027	0,041
Tl	мкг/дм <sup>3</sup>	0,099	0,154	0,068	0,105
Pb	мкг/дм <sup>3</sup>	0,90	1,40	1,50	2,34
Bi	мкг/дм <sup>3</sup>	0,002	0,003	0,005	0,008
La	мкг/дм <sup>3</sup>	1,890	2,937	0,657	1,022
Ce	мкг/дм <sup>3</sup>	0,976	1,516	1,603	2,492
Pr	мкг/дм <sup>3</sup>	0,368	0,572	0,177	0,274
Nd	мкг/дм <sup>3</sup>	1,626	2,528	0,705	1,096
Sm	мкг/дм <sup>3</sup>	0,573	0,890	0,140	0,217
Eu	мкг/дм <sup>3</sup>	0,083	0,129	0,033	0,052
Gd	мкг/дм <sup>3</sup>	0,674	1,048	0,129	0,200
Tb	мкг/дм <sup>3</sup>	0,039	0,060	0,013	0,021
Dy	мкг/дм <sup>3</sup>	0,390	0,606	0,093	0,145
Ho	мкг/дм <sup>3</sup>	0,041	0,064	0,019	0,029
Er	мкг/дм <sup>3</sup>	0,134	0,208	0,043	0,067
Tm	мкг/дм <sup>3</sup>	0,009	0,014	0,002	0,004
Yb	мкг/дм <sup>3</sup>	0,116	0,181	0,021	0,032

Th	мкг/дм <sup>3</sup>	0,003	0,004	0,004	0,006
U	мкг/дм <sup>3</sup>	0,054	0,083	0,537	0,835
ПО	мгО/дм <sup>3</sup>	3,20	4,98	2,05	3,18
С <sub>орг.</sub>	мгС/дм <sup>3</sup>	1,14	1,77	2,53	3,93

Примечание:  $\Sigma mi$  – сумма главных ионов; ПО – перманганатная окисляемость; С<sub>орг</sub> – углерод органических соединений

В целом, на основе анализа данных наблюдений сформулировано *третье защищаемое положение*: **фоновый уровень содержания веществ в грунтовых водах (геохимический фон) в значительной мере определяется интенсивностью водообмена, сорбционной способностью водовмещающих грунтов, их химическим и гранулометрическим составом, а допустимое воздействие на грунтовые воды прямо пропорционально геохимическому фону, глубине исследуемого горизонта и отношению удельной скорости изменения концентрации рассматриваемого вещества к коэффициенту гидродисперсии.**

## Выводы

На основе данных геохимических исследований, выполненных в 2021–2023 гг., проведены обобщение и анализ данных о химическом составе грунтовых и речных вод в водосборе озера Поян (зона переменного-влажных лесов субтропического пояса, КНР) и в других регионах Азии в пределах различных природных зон. В результате было установлено, что условия самоочищения грунтовых и речных вод в целом улучшаются с увеличением и выравниванием в течение года водного стока и температуры воды, что способствует росту интенсивности биогеохимических процессов, осаждению малорастворимых соединений, соосаждению ряда химических элементов, выносу загрязняющих веществ и продуктов их трансформации за пределы рассматриваемых участков. Соответственно, условия самоочищения при прочих равных условиях обычно наилучшие в регионах с теплым и влажным климатом, хуже – в регионах с влажным и холодным климатом и, особенно, в аридных регионах как с холодным, так и с теплым климатом. Выявлено, что снижение качества грунтовых вод на селитебных территориях может быть связано как с прямым их загрязнением, так и изменением режима и стока грунтовых вод вследствие сезонных и многолетних изменений инфильтрации, потерь из водоводов, барражного эффекта при строительстве и изменения границ поверхностных и подземных водосборов.

Разработана и апробирована на примере водосбора озера Поян методика оценки допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, поверхностном стоке, водах в мелиоративных системах и на рисовых полях, при поступлении которых в подземные водоносные горизонты качество грунтовых вод статистически значимо не изменится по сравнению с геохимическим фоном. Показано, что фон в значительной мере определяется интенсивностью водообмена, сорбционной способностью водовмещающих грунтов, их химическим и гранулометрическим составом, а допустимое воздействие на грунтовые воды прямо пропорционально геохимическому фону, глубине исследуемого горизонта и отношению удельной скорости изменения концентрации рассматриваемого вещества к коэффициенту гидродисперсии.

## Список литературы

1. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1953. – 296 с.
2. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1970. – 444 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. Белоусова, А.П. Экологическая гидрогеология / А.П. Белоусова, И.К. Гавич, А.Б. Лисенков, Е.В. Попов. – М.: Академкнига, 2006. – 397 с.
5. Бефани, Н.Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам / Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983. – 390 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. 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.
8. Вода России. Математическое моделирование в управлении водопользованием / под ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург: Изд-во «Аква-пресс», 2001. – 520 с.
9. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. – Ленинград: гидрометеоиздат, 1967. – 199 с.
10. 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.
11. 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.
12. Гидро- и инженерно-геологические условия юго-запада Западно-Сибирской равнины / под ред. В.М. Матусевича. – Новосибирск: Наука, 1987. – 129 с.
13. Гидрогеология СССР. Т. 16. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / под ред. В.А. Нуднера. М.: Недра, 1970. – 368 с.
14. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель / под ред. К.Е. Иванова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 447 с.
15. 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.

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

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

18. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав России, 2003. 94 с.

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

20. 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. – М.: Стандартиформ, 2010. – 109 с.

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

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

23. 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.

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

25. ГОСТ 179179-73. Гидрология суши. Термины и определения. Hydrology of land. Terms and definitions. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 65 с.

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

27. ГОСТ 24482-80. Макроклиматические районы земного шара с тропическим климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.. – М: Издательство стандартов, 1981 . – 76 с.

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

29. ГОСТ 28492-90. Геохимические методы поисков твёрдых полезных ископаемых. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2006. – 5 с.

30. ГОСТ 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 34 с.
31. ГОСТ Р 53795-2010. Изучение недр геологическое. Термины и определения. Geological study of subsurface. Terms and definitions. – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.
32. 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 : Стандартинформ, 2020. – 21 с.
33. Григорян, С.В. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / С.В. Григорян, А.П. Соловов, М.В. Кузин. – М.: Недра, 1983. – 191 с.
34. Гришанин, К.В. Устойчивость речных русел и кинематические волны / К.В. Гришанин // Труды Государственного гидрологического института. Вып. 190. Исследования морфологии и гидравлики речных русел, пойм и водоёмов для нужд строительного проектирования. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – С. 37–56.
35. 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.
36. Гусева, Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справоч. Материалы / Т.В. Гусева. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 192 с.
37. Данилов-Данильян, В.И. Некоторые проблемы снижения загрязнения водных объектов от диффузных источников / В.И. Данилов-Данильян, Е.В. Веницианов, С.Д. Беляев // Вод. ресурсы. 2020. № 47. С. 493–502.
38. 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.
39. Драйвер, Дж. Геохимия природных вод / пер. с англ. / Дж. Драйвер. – М.: Мир, 1985. – 440 с.
40. Емельянова, Т.Я. Характеристики фильтрационных свойств торфов Томской области / Т.Я. Емельянова, В.В. Крамаренко // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 36–39.
41. 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.
42. Зверев, В.П. Массопотоки подземной гидросферы / В.П. Зверев. – М.: Наука, 1999. – 97 с.
43. Зверев, В.П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии / В.П. Зверев. – М.: Научный мир, 2011. – 260 с.

44. Земцов, В.А. Ресурсы поверхностного стока в бассейне Оби: основные закономерности и проблемы управления: автореф. дис. ... доктора географ. наук/ В.А. Земцов. – Барнаул, Томск: Томский гос. Ун-т, 2004. – 43 с.
45. Иванов, К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах / К.Е. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
46. 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.
47. 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.
48. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1965. – 228 с.
49. Караушев, А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / А.В. Караушев. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 286 с.
50. Караушев, А.В. Речная гидравлика / А.В. Караушев. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.
51. 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.
52. Климат Томска / под ред. С.Д. Кошинского, Л.И. Троифионовой, Ц.А. Швер. – Ленинград: Гидрометеиздат. 1982. – 176 с.
53. 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.
54. Колоколова, О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / О.В. Колоколова. – Томск, 2003. – 21 с.
55. Кондратьева, И.А. Условия формирования инфильтрационных месторождений урана и гидрогеохимические методы их изучения / И.А. Кондратьева, И.Г. Печенкин, А.В. Гаврюшов // Минеральное сырье. М.: ВИМС, 2011. Вып. 24. С. 1–77.
56. 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.

57. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М.: Недра, 1987. – 237 с.
58. 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.
59. Крайнов, С.Р., Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.
60. Кузеванов, К.И. Гидрогеологическая основа экологических исследований города Томска / К.И. Кузеванов // Обской вестник. –1999. – № 1-2. – С. 53.
61. Кузин, П.С. Географические закономерности гидрологического режима / П.С. Кузин, В.И. Бабкин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
62. Лапшина, Е.Д. К экологической оценке современного состояния и истории развития речных пойм / Е.Д. Лапшина // Сибирский экологический журнал. – 1995. – № 4. – С. 297–304.
63. Лехов, А.В. Учет сорбции при моделировании диффузии в слабопроницаемых породах / А.В. Лехов, Ю.В. Федорова, Ю.В. Шваров // Инженерная геология. – 2017. – № 6. – С. 46-56.
64. Лехов, А.В. Физико-геохимическая гидрогеодинамика / А.В. Лехов. – М.: КДУ, 2010. – 500 с.
65. 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. Слукa, Т.Ю. Толпышева, Н.К. Шведчикова. – Тула: Гриф и К, 2001. – 584 с.
66. Лиштван, И.И. Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
67. 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.
68. 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.
69. Маккавеев, А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии / А.А. Маккавеев. – М.: Недра, 1971. – 216 с.
70. Мананков, А.В. Геоэкологические аспекты состояния поверхностных и подземных вод города Томска / А.В. Мананков, В.П. Парначев // Обской вестник, 1999. – № 1-2. – С. 105–116.

71. 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.
72. 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.
73. Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 248 с.
74. Мезенцев, В.С. Гидрологические расчёты в мелиоративных целях / В.С. Мезенцев. – Омск: Изд-во Омского СХИ, 1982. – 84 с.
75. Мелиорация и водное хозяйство. В 5 т. Т. 3. Осушение / под ред. Б.С. Маслова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 447 с.
76. Мелиорация и водное хозяйство. В 5 т. Т. 5. Водное хозяйство / под ред. И.И. Бородавченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 399 с.
77. Методика разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей. Утверждена приказом Минприроды России от 29.12.2020 г. N 1118. - М.: МПР России, 2020. - 26 с. [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 31.12.2020, N 0001202012310001.
78. Методика расчета водохозяйственного баланса водных объектов. – М.: МПР России, 2007. – 41 с.
79. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 285 с.
80. Методические рекомендации по расчёту платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. – М.: Госкомэкологии, 1998. – 13 с.
81. Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на подземные водные объекты и предельно допустимых сбросов вредных веществ в подземные водные объекты. – М.: МПР РФ, 1999. - 35 с.
82. Методическое руководство по геологической съёмке и поискам. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 507 с.
83. Мироненко, В.А. Проблемы гидрогеоэкологии. Т.1 / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин. – М.: МГГУ, 1998. – 230 с.
84. Мотузова, Н.В. Соединения микроэлементов в почвах. Системная организация, экологическое значение, мониторинг / Н.В. Мотузова. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 168 с.
85. Назаров, А.Д. Родники г. Томска – распространение, состав, возможности использования и аквапаркового обустройства / А.Д. Назаров // Известия Томского политехнического университета, 2002. – Т. 305. – № 8. – С. 236–256.
86. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. – Л.:

Гидрометеиздат, 1975. – 264 с.

87. 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.

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

89. Нгуен Ван Луен. Эколого-геохимическое состояние подземных и речных вод, донных отложений водотоков в северной части Вьетнама (на примере уезда Чодонь, провинция Баккан): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Луен Ван Нгуен. – Томск, 2017. – 22 с.

90. 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.

91. Орлова, В.В. Западная Сибирь / В.В. Орлова. Вып. 4. Климат СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 360 с.

92. Основные гидрологические характеристики. Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 488 с.

93. 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).

94. Пасечник, Е.Ю. Эколого-геохимическое состояние природных вод территории города Томска (правобережной части р. Томь): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. Наук / Е.Ю. Пасечник. – Томск: ТФ ИГНГ СО РАН, 2010. – 22 с.

95. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1979. – 423 с.

96. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: «Высшая школа», 1975. – 342 с.

97. 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.

98. Подземные воды мира. Ресурсы, использование, прогнозы / под ред. И.С. Зекцера. – Москва: Наука, 2007. – 438 с.

99. Поликарпочкин, В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния / В.В. Поликарпочкин. – Новосибирск: Наука. 1976. – 407 с.

100. 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.

101. 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.

102. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобановой. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.

103. Правила охраны подземных водных объектов (с изменениями на 25 декабря 2019 года). Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 11.02.2016 г. N 94. – М.: Правительство РФ, 2016. – 4 с.

104. 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.

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

106. Р 52.08.874-2018. Определение гидрографических характеристик картографическим способом. – Санкт-Петербург : МПР РФ, Росгидромет, ГГИ, 2018. – 178 с.

107. 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.

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

109. 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.

110. Реймерс, Н.Ф. Природопользование / Н.Ф. Реймерс. – Москва: Мысль, 1990. – 637 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 поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш / под ред. В.А. Семенова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 318 с.

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

114. Рогов, Г.М. Проблемы использования природных вод бассейна реки Томи для хозяйственно-питьевого водоснабжения / Г.М. Рогов, В.К. Попов, Е.Ю. Осипова. – Томск: Изд-

во ТГСАУ, 2003. – 218 с.

115. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 357 с.
116. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 93 с.
117. Румынин, В.Г. Теория и методы изучения загрязнения подземных вод / В.Г. Румынин. – СПб.: Наука, 2020. – 559 с.
118. Рычагов, Г.И. Общая геоморфология / Г.И. Рычагов. – М.: МГУ, 2006. – 416 с.
119. 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.
120. 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.
121. Савичев О.Г. Влияние болот на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби (в пределах Томской области) / О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308. – № 3. – С. 47-50.
122. 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.
123. 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.
124. Савичев, О.Г. Водные ресурсы Томской области / О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. – 248 с.
125. 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.
126. Савичев, О.Г. Гидрогеологические и гидрологические условия функционирования Обского и Баксинского болот (юго-восток Западно-Сибирской равнины) / О.Г. Савичев О.Г., Хэн Ян // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2021 – Т.332. - №4. – С. 43-56. DOI 10.18799/24131830/2021/04/3147.
127. Савичев, О.Г. Гидроэкологическое состояние междуречья рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, В.Л. Нгуен // Известия Томского политехнического университета. –

2015а. – Т. 326. – №7, С. 96-103.

128. 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.

129. Савичев, О.Г. Метод оценки допустимых антропогенных изменений химического состава поверхностных вод / О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308. – № 4. – С. 51-55.

130. 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.

131. 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.

132. Савичев, О.Г. Минералого-геохимические особенности донных отложений малых рек в междуречье рек Ло и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, В.А. Домаренко, Е.В. Перегудина, Нгуен Ван Луен, М.В. Шалдыбин, А.В. Канаки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 9. – С. 102–113.

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

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

135. 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.

136. 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.

137. 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.

138. 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.

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

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

141. 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.

142. 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.

143. 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.

144. 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.

145. 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.

146. 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.

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

148. 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.

149. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2019. – 86 с.
150. СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.
151. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова,. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
152. 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.
153. Технический регламент Всемирной метеорологической организации. Том III. Гидрология. ВМО № 49. – Секретариат ВМО: Женева – Швейцария, 2006. – 130 с.
154. 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.
155. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000 / отв. ред. Э.К. Буренков. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 92 с.
156. Трофимов, В.В. Имитационная модель, описывающая миграцию химических веществ в системе «вода – донные отложения» и пути ее численного решения / В.В. Трофимов, В.И. Манихин // Гидрохимические материалы. Т. ХСII. Основные направления работ в области гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 65–72.
157. 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.
158. Федеральный закон «О недрах» № 2396-1. – М.: Гос. Дума РФ, СФ, 2011. – 64 с.
159. Федеральный закон № 74-ФЗ. Водный кодекс Российской федерации (с изменениями на 25.06.2012 г.). – М.: Гос. Дума РФ, СФ, 2012. – 54 с.
160. Фортыгина, Е. Экологические проблемы Китая / Е. Фортыгина // Отечественные записки. 2008. № 3. С. 167–175.
161. Фунг Тхай Зыонг. Эколого-геохимическое состояние дельты реки Меконг (республика Вьетнам) по результатам изучения донных отложений: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук / Зыонг Тхай Фунг. – Томск, 2015. – 25 с.
162. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – Москва: Недра, 1998. – 366 с.
163. Шварцев, С.Л. Общая гидрогеология / С.Л. Шварцев. – М.: Альянс, 2012. – 601 с.
164. Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика / В.М. Шестаков. – М.: КДУ, 2009. – 334 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. Эдельштейн, К.К. Гидрология материков / К.К. Эдельштейн. – М.: «Академия», 2005. – 304 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. 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.

170. Annual Hydrological Report P. R. China. Volume 6(17), 2019. Hydrological data of Changjiang river basin. – Beijing: Ministry of Water Resources of the People's Republic of China., 2020. – 300 p.[на китайском].

171. Annual Hydrological Report P. R. China. Volume 6(18), 2019. Hydrological data of Changjiang river basin. – Beijing: Ministry of Water Resources of the People's Republic of China., 2020. – 330 p. [на китайском].

172. Assessment of water storage response to surface hydrological connectivity in a large floodplain system (Poyang Lake, China) using hydrodynamic and geostatistical analysis / Y. Li, Qi Zhang, J. Yao, Z. Tan, X. Liu // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. – 2019. – № 33. – P. 2071–2088. DOI: 10.1007/s00477-019-01740-9.

173. Banwart, S.A. Aqueous speciation at the interface between geological solids and groundwater / S.A. Banwart // Modelling in Aquatic Chemistry / Eds. I. Grenthe, I. Puigdomenech. – Paris, France: OECD, Nuclear Energy Agency, 1997. – P. 245–288.

174. Benedini, M. Water Quality Modelling for Rivers and Streams / M. Benedini, G. Tsakiris. – Dordrecht: Springer, 2013. – 288 p.

175. 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].

176. 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.

177. Calculation theory and application of water environment capacity / Y. Pang, G. Lu et al. –Beijing: Science Press, 2010. – 220 p.

178. Chapman, D. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring / D. Chapman, 2nd ed. Cambridge: Univ. Press, 1996. 651 p.

179. Cheng, Ch. Distribution characteristics and migration of inorganic nitrogen in shallow groundwater around Poyang Lake / Ch. Cheng. N. Press N. – 2021. – 73p.[на китайском].
180. China: Jiangxi (Prefectures, Cities, Districts and Counties) – Population Statistics, Charts and Map [Электронный ресурс] // City Population – Population Statistics in Maps and Charts for Cities, Agglomerations and Administrative Divisions of all Countries of the World / Ed. Brinkhoff T. URL: <https://www.citypopulation.de/en/china/jiangxi/admin/> (дата обращения 26.05.2021).
181. Chinese Academy of Environmental Planning // National Technical Manual of Water Environmental Capacity Calculation. – Beijing, Chinese Academy of Environmental Planning, 2003. – P. 42–69.
182. 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.
183. 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.
184. Eckstein, Y. Two decades of trends in ground water chemical composition in The Great Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia / Y. Eckstein, O. Savichev, E. Pasechnik // Environmental Earth Sciences, 2015, N 1, pp. 3-15. DOI 10.1007/s12665-014-3908-z.
185. 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.
186. Feng, L. MODIS observations of the bottom topography and its inter-annual variability of Poyang Lake / L. Feng, C. Hu, X. Chen, R. Li, L. Tian, B. Murch // Remote Sens Environ. 2011. V. 115. P. 2729–2741. doi: 10.1016/j.rse.2011.06.013
187. 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.
188. GB3838-2002. State Environmental Protection Administration. Environmental quality standards for surface water. – Beijing, China Environmental Science Press, 2002. – 12 p.
189. 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).
190. 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.

191. 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.
192. *Guide to hydrological practices. V. I. Hydrology – from measurement to hydrological information.* WMO. No. 168. 6th ed. – Geneva: World Meteorological Organization, 2008. – 296 p.
193. 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.
194. Hafsteinsdottir, E.G. Chemical immobilization of metals and metalloids by phosphates / E.G. Hafsteinsdottir, D. Camenzuli, A.L. Rocavert, J. Walworth, D.B. Gore // *Applied Geochemistry*. – 2015. – V. 59. – P. 47–62. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2015.03.014.
195. Hendriks, M.R. *Introduction to physical hydrology* / M.R. Hendriks. – Oxford; New York: Oxford University Press, 2010. – 331 p.
196. 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.
197. Huang, J. New researches on geotectonic subdivisions of eastern China and their characteristics / Huang Jiqing // *Acta Geologica Sinica*. – 1959. – 39 (2). – P.115-134 [на китайском].
198. 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.
199. Jiangxi bulletin of soil and water conservation 2019 // Official site of the Department of Water Resources of Jiangxi Province, People's Republic of China. [Электронный ресурс]. [http://slt.jiangxi.gov.cn/art/2020/12/3/art\\_27420\\_2953883.html](http://slt.jiangxi.gov.cn/art/2020/12/3/art_27420_2953883.html) (дата обращения 26.05.2021). [на китайском]
200. Jiangxi water resources bulletin 2019 [Электронный ресурс] // Official site of the Department of Water Resources of Jiangxi Province, People's Republic of China. <http://slt.jiangxi.gov.cn/module/download/downfile.jsp?classid=0&showname=江西省水资源公报2019-定稿.pdf&filename=48d8234b39cd4d11b8ce61b5d1c6f8d0.pdf> (дата обращения 26.05.2021). [на китайском]
201. 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*

Environmental. – 2020. – V. 733. – 139343. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139343.

202. 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.

203. 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.

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

207. 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.

208. Li, X. Influences of the timing of extreme precipitation on floods in Poyang Lake, China / X. Li, Qi Hu, R. Wang, D. Zhang, Qi Zhang // *Hydrology Research*. – 2021. – P. 1–17. DOI: 10.2166/nh.2021.078.

209. Li, Y. Historical and predicted variations of baseflow in China's Poyang Lake catchment / Li Y., Zhang Qi // *River Resources and Applications*. – 2018. – P. 1–12. DOI: 10.1002/rra.3379.

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. 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].
215. Liao, Fu. Estimation of groundwater discharge and associated chemical fluxes into Poyang Lake, China: approaches using stable isotopes ( $\delta D$  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.
216. Liu, Y. Climatic, Hydrologic and Enviromental Change in Poyang Lake Basin / Liu Yuanpo., Zhang Qi., Liu Jian., Li Hengpeng. – Beijing: Science Press., 2012. – 270 p.[на китайском].
217. 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.
218. 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.
219. 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.
220. Manual on Stream Gauging. V. II. Computation of Discharge. WMO. No. 1044. – Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2010. – 198 p.
221. Manual on Stream Gauging. Vol. I. Fieldwork. WMO. No. 1044. – Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2010. – 252 p.
222. 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.
223. Matveenko, I.A. Spatial-Temporal Regularities in Changing Chemical Composition of Bog Waters in Taiga Zone of Western Siberia / I.A. Matveenko, O.G. Savichev, V.A. Bazanov, Ye.V. Ivanova // Procedia Chemistry. 2015. Vol.15 (16th International Scientific Conference “Chemistry and Chemical Engineering in XXI century” dedicated to Professor L.P. Kulyov, CCE 2015), Pp. 206-212. doi: 10.1016/j.proche.2015.10.033.
224. Meng, W. Status of wetlands in China: A review of extent, degradation, issues and recommendations for im-provement / Meng W., He M., Hu B., Mo X., Li H., Liu B., Wang Zh. // Ocean & Coastal Management. – 2017. – Vol. 146. – P. 50–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.003> (accessed 1 Octo-ber 2019).

225. 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.
226. Mujumdar, P.P. Floods in a Changing Climate. Hydrologic Modeling / P.P. Mujumdar, D.N. Kumar. – New York: Cambridge University Press, 2012. – 177 p.
227. 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.
228. Nguyen, L. Assessing the influence of the mining operations on the state of streams in the northern part of the Red River Basin (Viet Nam) / Nguyen Van Luyen, O.G.Savichev // *Geography and natural resources*. – 2018. – V. 39. – № 2. – P. 182–188. DOI: 10.1134/S1875372818020129.
229. Nguyen, L. Improved method for hydrochemical exploration of mineral resources / Nguyen Van Luyen, O.G. Savichev, V.A. Domarenko, Quach Duc Tin // *Vietnam Journal of Earth Sciences*. – 2017. – № 39 (2). – P. 167–180. DOI: 10.15625/0866-7187/39/2/9703.
230. Official site of the Department of Bureau of Statistics of Jiangxi Province. People's Republic of China. URL: <http://www.stats.gov.cn>. 2013-2021 Jiangxi Province National Economic and Social Development Statistical Bulletin. [на китайском]
231. Official site of the Department of Water Resources of Jiangxi Province, People's Republic of China. URL: <http://slt.jiangxi.gov.cn/col/col27420/index.html>. Jiangxi water resources Bulletin 2019. 10.2020.
232. Official site of the Department of Water Resources of Jiangxi Province, People's Republic of China. URL: <http://slt.jiangxi.gov.cn>. Jiangxi water resources Bulletin 2020. 07. 2021.[на китайском].
233. Official site of the Department of Water Resources of Jiangxi Province, People's Republic of China. URL: [http://slt.jiangxi.gov.cn/art/2020/12/3/art\\_27420\\_2953883.html](http://slt.jiangxi.gov.cn/art/2020/12/3/art_27420_2953883.html). Jiangxi Bulletin of soil and water conservation. 03.12.2020.
234. Pokrovsky, V.D., Dutova, E.M., Kuzevanov, K.I., Pokrovsky, D.S., Nalivaiko, N.G. // Hydrogeological Conditions Changes of Tomsk, Russia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – №27 (1).
235. Poyang Lake basin water environment management project. Consolidated Environmental Assessment Report. SFG2444 V2. 2016.8. Consignor Jiangxi Province Office of Urban Construction & Foreign Capital Utilization Consignee: CERI eco Technology Co., Ltd. Beijing, 2006. Published online 20.03.2006. – 23 p. DOI: 10.1002/joc.1307.
236. 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.

237. Ren J. On the geotectonics of southern China / Ren Jishun // *Acta Geologica Sinic.* – 1990. – V.64 (4). – P. 275-288p.[на китайском].
238. 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.
239. 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.
240. Rybina, T.A. Investigation of upper oligotrophic mires in the middle Ob basin (West Siberia) / T.A. Rybina, V.A. Bazanov, O.G. Savichev, A.A. Skugarev, A.E. Berezin, V.A. Sechenov // *International Journal of Environmental Studies*, 2015. – N4. P. 1-7. DOI: 10.1080/00207233.2015.1026238.
241. 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. Nepf, A. Marion // *Ecological Engineering.* – 2017. – V. 105. – P. 170–179. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.062.
242. 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.
243. Savichev, O.G. Distribution of Inorganic Pollutants over the Depth of Upper Peat Deposit / O.G. Savichev // *Contemporary Problems of Ecology.* – 2015. – Vol. 8. – No. 1. – P. 118–124. DOI: 10.1134/S1995425515010114.
244. 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.
245. 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.
246. 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.

247. 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.

248. 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.

249. 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.

250. 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.

251. 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.

252. 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* 586 (2017) 319–327. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001.

253. 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.

254. 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.

255. 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.

256. Shvartsev, S.L. The system water-rock-gas-organic matter of V.Vernadsky / S.L. Shvartsev // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2013. T. 7. C. 810-813..

257. 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.

258. SL 348-2006. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Code of

practice for computation on allowable permitted assimilative capacity of water bodies. China: Water Conservancy and Hydropower Press, 2006. – 43 p.

259. 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.

260. 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.

261. 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.

262. Soldatova, E. Nitrogen transformation and pathways in the shallow groundwater-soil system within agricultural landscapes / E. Soldatova, Dong Y., Li J., Liu Y., Zan J., Boeckx P., Sun Z. // Environ Geochem Health. 2021. V. 43. P. 441–459. DOI: 10.1007/s10653-020-00733-w.

263. 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.

264. 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.

265. Soldatova, E.A. Isotopic composition ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$ ) 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.

266. 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.

267. 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.

268. 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.

269. 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.

270. 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.

271. 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].

272. 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].

273. Wang H. Mesozoic and cenozoic basin formation in east China and adjacent regions and development of the continental margin / Wang Hongzhen, Yang Sennan, Li Sitian. // *Acta Geologica Sinica*. – 1983. – 62 (3). – P. 213-223p.[на китайском].

274. 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.

275. 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.

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

277. 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.

278. 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

279. 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.

280. 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.

281. 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.

282. 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.

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 X. Geochemical characteristics and origin of porcelain stone deposits (lithium-containing) in Yifeng, Jiangxi[J] / Zeng Xiaojian, Liu Jianwei, Zeng Qingyou, etc. // *Nonferrous Metals (Mine Section)*. – 2022. – 74(04). – P. 128-136.

286. 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 / H. Zhang, Y. Jiang, M. Wang, P. Wang, G. Shi, M. Ding // *Environ Sci Pollut Res*. – 2017. – 24:2890–2903. DOI 10.1007/s11356-016-7988-z.

287. Zhang, M. Porportions of deltas in downwarped basin deposits / M. Zhang // *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*. – 2014. – Vol. 34 (3) : 44 – 51p.[на китайском].

288. Zhang, Q. Effect of ground water level on the release of carbon, nitrogen and phosphorus during 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. – P. 305–322. doi: 10.1080/02705060.2019.1584128.

289. Zhang, Q. Research on Climate Change and Hydrological Response of Poyang Lake Basin / Zhang Qiang., Sun Peng., Wang Yeqiao. – Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press., 2015. – 176 p. [на китайском].

290. Zhang, Qi Research on the Changes of Hydrological Situation in Poyang Lake / Qi Zhang et al. – Beijing: Science Press., 2018. – 198 p. [на китайском].

291. Zhang, Y. Comprehensive manual of water environmental capacity / Y. Zhang, P. Liu. – Beijing: Tsinghua University Press., 1991. – 1222 p.

292. Zhao S. Physicogeographical Regions of China / Songqiao Zhao. – Beijing, 1983 [на китайском].