

Шмаков Андрей Валентинович

**ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В
ПОДТАЁЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ
ТИМИРЯЗЕВСКОГО БОЛОТА У Г.ТОМСКА)**

25.00.07 – «Гидрогеология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете»

**Научный
руководитель**

Савичев Олег Геннадьевич,
доктор географических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Шелутко Владислав Аркадьевич, доктор географических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ, Санкт-Петербург), профессор кафедры системной экологии

Наймушина Ольга Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), научный сотрудник лаборатории рудно-магматических систем и металлогении

**Ведущая
организация:**

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН, г.Томск)

Защита состоится «23» декабря 2016 г. в 12.30 на заседании диссертационного совета ДМ212.269.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (634034, г. Томск, ул. Белинского, 55), и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2799/worklist>.

Автореферат разослан «3» ноября 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
К.Г.-М.Н.



Лепокурова Олеся Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Болота, с одной стороны, отражают специфические условия на водосборной территории (избыточное увлажнение, слабая дренированность и так далее), а с другой стороны, оказывают существенное влияние на граничащие с ними природные комплексы и компоненты окружающей среды. В частности, в процессе возникновения и эволюции болот происходят значительные изменения водного и геохимического режима подземных вод, особенно в Западной Сибири, где заболоченность отдельных водосборов может превышать 60-70 %. Всё это и определяет актуальность исследований болот, особенно в подтаёжной зоне Западной Сибири, где в ряде случаев процессы болотообразования протекают с относительно большой скоростью, а последствия заболачивания или, наоборот, разрушения болот могут негативно сказаться на социально-экономическом развитии крупных населённых пунктов, включая административный центр Томской области – г.Томск.

Безусловно, в изучении разных аспектов функционирования болот, в целом, и болот Томской области, в частности, достигнуты существенные успехи благодаря работам: в области гидрологии болот – благодаря работам А.Д. Дубах, К.Е. Иванова, С.М. Новикова, Б.С. Маслова; в области геоботаники и геоэкологии – работам Н.Я. Кац, М.С. Боч, В.А. Смагина, М.И. Нейштадта, Н.И. Пьявченко, Ю.А. Львова, Н.Н. Пологовой, Е.Д. Лапшиной, В.А. Базанова, О.Л. Лисс, Л.И. Инишевой, С.Н. Кирпотина; в области физики и химии торфов, – И.И. Лиштвана, Е.Т. Базина, В.Н. Ефимова, Л.И. Инишевой, С.И. Смолянинова, В.К. Бернатониса, С.Г. Маслова, В.С. Архипова, Е.Э. Езупенок.

Важные результаты были получены и в части изучения гидрохимии болот: Е.Г. Нечаевой, С.Л. Шварцевым, Н.М. Рассказовым, О.Г. Савичевым, А.Д. Назаровым, Д.В. Московченко, Ю.А. Харанжевской, М.А. Здвижковым, А.Д. Дубах, В.Н. Ефимовым, Л.И. Инишевой, В.К. Бернатонисом, В.С. Архиповым, Е.Э. Езупенок, В.А. Базановым и другими.

Комплексные гидрологические, геохимические и геоэкологические исследования в разные годы проводились специалистами Государственного гидрологического института (ГГИ), Московского государственного университета (МГУ), Томского государственного университета (ТГУ), Томского политехнического университета (ТПУ), Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа (СибНИИТ, г. Томск), Института почвоведения СО РАН (г. Новосибирск), Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН, г. Томск), Института водных и экологических проблем СО РАН (ИВЭП СО РАН, г. Барнаул), Томского государственного педагогического университета.

Тем не менее, многие вопросы, сопряжённые, например, с изучением закономерностей изменения химического состава болотных вод по глубине торфяной залежи и во времени (как внутри года, так и в многолетнем разрезе), остались недостаточно полно раскрыты, что негативно сказывается на достоверности оценок состояния гидравлически связанных болотных и подземных вод. В значительной степени это определяется методологической и технической сложностью опробования болотных вод в заданной точке без смешения вод различных горизонтов, а также трудоёмкостью болотных исследований в целом. Также следует отметить сохраняющиеся пробелы в понимании взаимосвязей болот с другими компонентами окружающей среды, что затрудняет объективную оценку фактического и допустимого антропогенного воздействия на болота и связанные с ними подземные воды. Необходимость такой оценки актуальна в районах размещения многих крупных гидротехнических сооружений, в том числе и подземного водозабора у г. Томска, расположенного в подтаёжной зоне Западной Сибири. Всё это и определило цель и задачи рассматриваемых исследований.

Объектом исследования являются болотные и подземные воды Тимирязевского болота переходного типа, расположенного в 2 км на юго-запад от п. Тимирязево и 3,5 км на запад от г. Томска в левобережной части долины р. Томи. Окраина исследуемого болота находится в 50-60 м от первой эксплуатационной скважины Томского подземного водозабора. Выбор объекта обусловлен его типичностью для условий подтаёжной зоны Западной Сибири и близостью к первой очереди Томского подземного водозабора, что определяет возможность изучения его влияния на окружающую среду. Общеизвестного названия у исследуемого болота нет, поэтому автором используется название по ближайшему значительному населённому пункту (п. Тимирязево).

Целью работы является выявление закономерностей гидрогеохимического режима переходного болота в подтаёжной зоне Западной Сибири и природно-антропогенных условий его формирования.

Задачи исследования:

- 1) разработка методического комплекса для проведения гидрогеохимических исследований на болотах с целью изучения закономерностей изменения химического состава болотных и грунтовых вод в вертикальном разрезе торфяной залежи и во времени;
- 2) выявление закономерностей изменения химического состава вод переходного болота в вертикальном разрезе торфяной залежи в течение года;
- 3) изучение факторов формирования гидрогеохимического режима переходного болота, включая анализ влияния Томского подземного водозабора на эколого-геохимическое состояние Тимирязевского болота.

Предмет исследования – гидрогеохимический режим заболоченных территорий и условия его формирования.

Методы исследования и исходный материал: ландшафтно-геохимический, географо-гидрологический, статистический; методы определения концентраций растворённых в воде веществ: инверсионно-вольт-амперометрический, атомно-абсорбционный, кондуктометрический, потенциометрический, атомно-эмиссионная спектроскопия, ионная хроматография, фотометрический, титриметрический. Определение химического состава вод выполнено в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета (ТПУ) с использованием аттестованных методов и современной приборной базы.

Фактический материал. В основу диссертации положен материал, полученный при изучении Тимирязевского болота у г. Томска (Западная Сибирь) в течение 2010–2015 гг. Было отобрано и проанализировано 59 проб болотных вод, выполнено определение 48 фильтрационных расходов болотных вод (с одновременным измерением уровней болотных и грунтовых вод) в разные фазы водного режима.

Личный вклад автора заключается в: разработке методического комплекса гидрогеохимических исследований, включающего в себя создание и апробацию оборудования для отбора проб болотных вод и методик его размещения и применения; проведении полевых работ; анализе полученных данных, формулировке и обосновании защищаемых положений, подготовке статей для публикации.

Научная новизна работы заключается в разработке усовершенствования методического комплекса проведения исследований условий формирования гидрогеохимического режима болотных вод с позиций особенности вертикальной зональности, просматриваемой в результате анализа впервые полученных в ходе его применения данных, основанных на аналитической обработке результатов лабораторных исследований проб болотных вод, отобранных на новом качественном уровне.

Практическая значимость исследования состоит в том, что:

– разработанный комплекс для проведения гидрогеохимических исследований болот является важным этапом развития системы экологического мониторинга на заболоченных территориях и повышения его эффективности и достоверности;

– выявленные с помощью разработанного методического комплекса закономерности зонально-временных изменений химического состава болотных вод позволяют более объективно оценивать гидрогеохимические процессы, что важно при проектировании мероприятий по защите подземных вод от загрязнения в процессе добычи нефти и газа на заболоченных территориях Западной Сибири и Европейской части Российской Федерации;

– полученные с помощью разработанного методического комплекса данные позволяют более объективно оценивать характер и степень антропогенных воздействий на окружающую среду на заболоченных территориях (включая влияние одного из крупнейших в России Томского подземного водозабора).

Достоверность защищаемых положений обеспечена использованием современных высокочувствительных аналитических методов и использованием комплексного подхода к изучению состояния гидрогеохимических условий заболоченных территорий на основе ландшафтно-геохимического, географо-гидрологического и статистических методов.

Апробация работы и публикации по теме диссертации. Результаты исследований докладывались и обсуждались в городе Томске на Международном VIII Сибирском Форуме недропользователей и предприятий ТЭК в 2012 г. и Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеологии Евразии» в 2015 г. По теме диссертации опубликовано четыре статьи, из которых три опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК России. Получено три патента.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 171 страницах основного машинописного текста и содержит 50 рисунков, 30 таблиц, список используемой литературы из 288 наименований. Общий объем диссертации – 201 страниц.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, профессору, д.г.н. О.Г. Савичеву за высокую требовательность, объективную критику и терпение при руководстве диссертационной работой, заведующей кафедрой ГИГЭ к.г.-м.н. Н.В. Гусевой, профессору д.г.-м.н. С.Л. Шварцеву. Особую благодарность автор выражает директору НОЦ «Вода» к.г.-м.н. Ю. Г. Копыловой за всестороннюю помощь в проведении аналитических исследований. За выполнение лабораторных исследований автор выражает благодарность сотрудникам проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» ИПР ТПУ - к.х.н. Р.Ф. Зарубиной, к.г.-м.н. А.А. Хвощевской, к.г.-м.н., А.Н. Ефимовой, В.А. Шушариной, Н.И. Шердаковой, Т.Х. Шмаковой, Н.А. Мастовской, А.А. Скороходовой, начальнику научно-аналитического центра ТПУ В.А. Тарбокову, сотрудникам химической лаборатории НАЦ ТПУ – Л.А. Костиковой, М.П. Федотовой. За предоставление ценных научных и библиографических консультаций автор выражает благодарность профессору д.г.-м.н. В.К. Попову, и ценные консультации профессору д.г.-м.н. Л.А. Строковой и профессору д.г.-м.н. Е.М. Дутовой, к.г.-м.н., К.И. Кузеванову, к.г.-м.н. А.Д. Назарову, к.г.-м.н. Н.Г. Наливайко, к.г.-м.н. А.Н. Никитенкову.

СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

Первое защищаемое положение. *Разработан и апробирован методический комплекс исследования гидрогеохимических условий на болотах, представляющий совокупность оборудования, методик его размещения, проведения гидрогеохимических наблюдений и обработки результатов полевых и лабораторных работ.*

Изучение гидрогеохимических условий включает в себя решение ряда задач, в том числе выявление зонально-временных изменений химического состава вод. Но применительно к болотам мы сталкиваемся с целым рядом вопросов «методологического» и «технического» (инженерного) характера. В частности, торфяное болото представляет собой постоянно изменяющуюся деформируемую среду с переменными по территории и глубине фильтрационными свойствами (в южно-таёжной зоне Западной Сибири средняя скорость прироста торфяной залежи [Нейштадт, 1972; Львов, 1990; Пологова, Лапшина, 2002]

составляет около 1 мм/год, а амплитуда сезонных колебаний поверхности Тимирязевского болота, по полученным нами данным, может превышать 20 см). С учётом этого требуется разработка оборудования, пригодного для отбора проб болотных вод на разных глубинах в различные фазы водного режима, определения колебаний средней поверхности болота и уровней болотных и грунтовых вод. Причём необходимо не оказывать существенного влияния на болотную экосистему, учитывая постоянно происходящие в ней процессы формирования торфов разного типа и изменение условий водно-минерального питания болотной растительности.

Всё это определяет специфику соответствующих оборудования и методик по сравнению с аналогичными оборудованием и методиками, обычно применяемыми в гидрогеологии, и предполагает: 1) разработку устройства, позволяющего на новом качественном уровне проводить отбор болотных вод с определением характеристик гидрологического режима болота; 2) разработку методик использования устройств и оборудования, в том числе: 2.1) методику выбора места размещения пункта наблюдений; 2.2) методику установки скважин и подготовки к проведению наблюдений; 2.3) методику проведения пробоотбора и гидрогеологических наблюдений; 2.4) методы аналитической обработки и анализа получаемых данных. Указанные выше задачи и были последовательно рассмотрены в рамках диссертационного исследования.

1. Разработка устройств для исследования гидрогеохимических условий на болотах. Устройства для гидрогеохимических исследований на болотах должны обеспечивать: возможность периодического отбора проб воды с фиксированных интервалов вертикального разреза торфяной залежи в течение всего периода проведения работ; минимизацию вероятности смешения вод опробуемого и смежных с ним интервалов торфяной залежи, а также исключение контакта отбираемой пробы болотной воды с атмосферным воздухом; получение значений фильтрационного режима, характеризующего

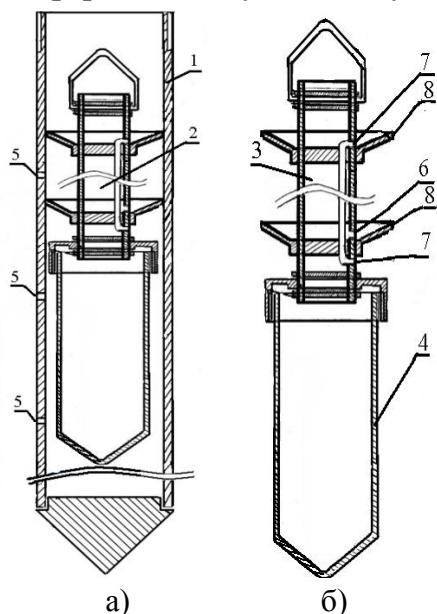


Рисунок 1 – Устройство для проведения отбора проб

а) общий вид б) пробоотборник
Условные обозначения: 1 – рабочая колонна; 2 – пробоотборник; 3 – коллекторное устройство; 4 – приёмная камера-накопитель; 5 – продольно-однорядная перфорация; 6 – приемное отверстие; 7 – отводящие отверстия; 8 – резиновые манжеты

относительную интенсивность фильтрации на различных интервалах опробования при отборе проб воды; контроль требуемых условий отбора проб при использовании применяемого оборудования; надёжную работу оборудования и принцип комплексности проведения исследований. Устройства, применяемые в системе государственного мониторинга недр и водных объектов, к сожалению, лишь частично соответствуют указанным выше требованиям.

В связи с этим автором было разработано устройство (рисунок 1), состоящее из рабочей колонны 1, выполненной в виде стальной трубы, и пробоотборника 2. Пробоотборник состоит из коллекторного устройства 3 с присоединенной к его нижней части приёмной ёмкости накопителя 4.

Рабочая колонна 1 (рисунок 1а) проходит через всю торфяную залежь с заглублением в минеральный грунт ниже максимально возможной глубины промерзания грунтов и имеет продольно-однорядную перфорацию 5 через 0,50 м, начинающуюся с одного метра от забоя скважины. Ввиду устойчивого положения, рабочая колонна скважины одновременно выполняет функцию репера при изучении уровня режима болотных вод и колебаний поверхности микрорельефа болота. Коллектор 3 (рисунок 1б) обеспечивает поступление

воды в накопитель с заданной глубины. Он представляет собой цилиндр из антикоррозийного материала с системой приёмных (6) и отводящих (7) отверстий, а также двух резиновых манжет (8), предназначенных для герметизации перераспределения и направления потока воды, которая поступает в камеру-накопитель 4.

2. Методика выбора места размещения пункта наблюдений включает в себя выбор места размещения пункта наблюдений на основе анализа целей и задач исследования, картографического материала и данных дистанционного зондирования Земли, фондовых и опубликованных материалов, данных рекогносцировочного обследования, топогеодезических и промерных работ. Цель анализа – определение участка с относительно однородными условиями формирования химического состава болотных и связанных с ними подземных вод – достигается путем последовательного выделения типа (по растительности), класса (по почвенному покрову), рода (в соответствии с рельефом) и вида (по механическому составу подстилающих пород) ландшафтов. В рассматриваемой работе выбран фрагмент долинного переходного Тимирязевского болота в районе размещения первой очереди Томского подземного водозабора (рисунок 2).

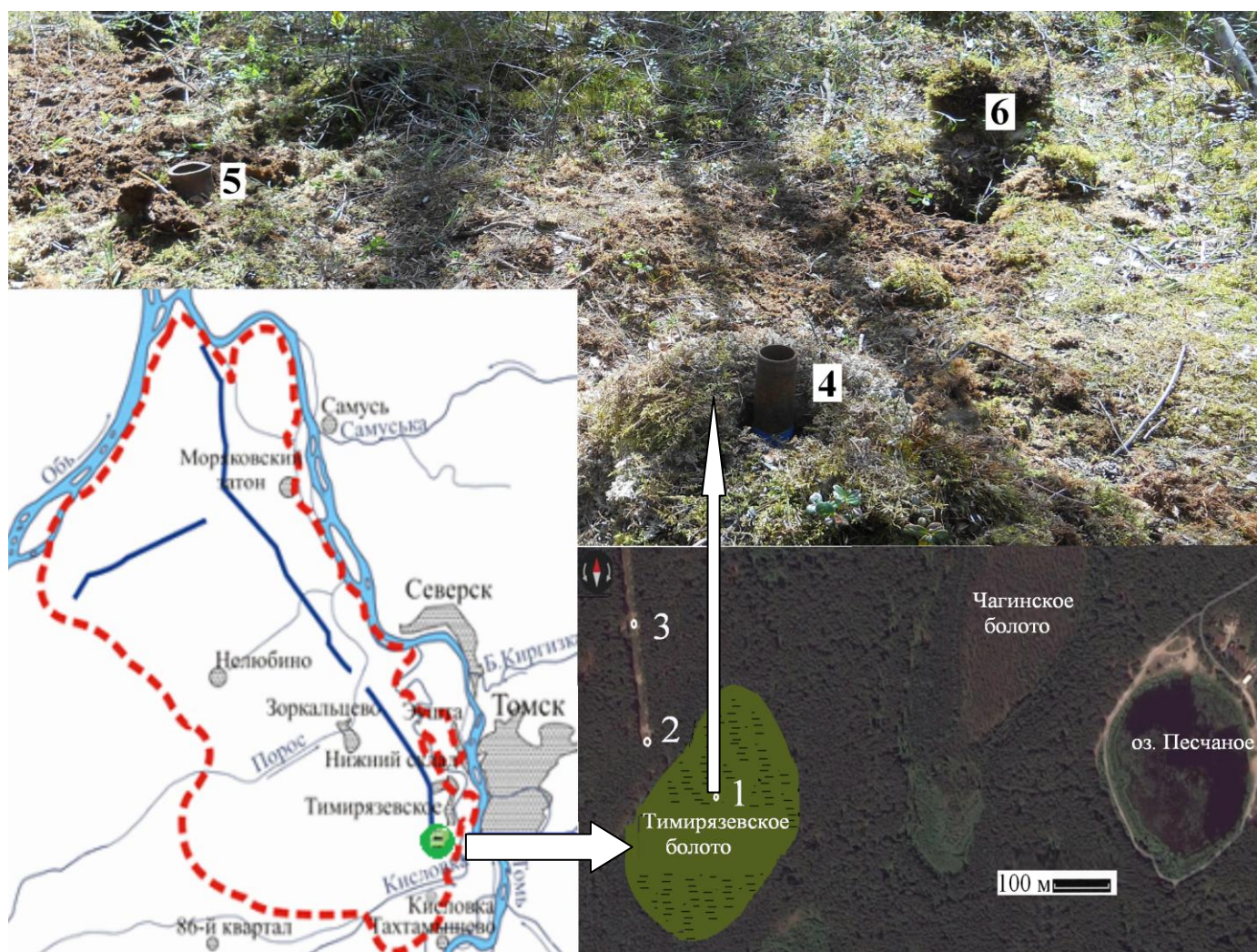


Схема расположения водозабора (по данным Томскгеомониторинга 2014г.). Условные обозначения:
 Города и поселки Границы депрессионной воронки Линии Томского водозабора
 Тимирязевское болото

Рисунок 2 – Расположение пункта наблюдения на Тимирязевском болоте.

Условные обозначения:

1 – место расположения пункта наблюдений; 2 – 3 – эксплуатационные скважины Томского подземного водозабора; 4 – опорная скважина 1; 5 – вспомогательная скважина 2; 6 – место постоянного отбора проб 3

Опорная скважина № 1 расположена в 89 м от границы болота на участке с мощностью торфяной залежи 4,76 м, сложенной торфами следующих видов: 0,00–0,10 м – очёс; 0,10–0,64 м – комплексный верховой; 0,64–1,16 м – переходный гипновый торф; 1,16–2,40 м – низинный осоковый - гипновый торф; 2,40–3,50 м – низинный осоковый торф; 3,50–4,20 м – низинный гипновый торф; 4,20–4,76 м – низинный осоково-гипновый торф. Определение ботанического состава торфа проведено в соответствии с [ГОСТ 28245-89; ГОСТ 21123-85; Кац и др., 1977].

По результатам топогеодезических и промерных работ был построен схематичный профиль вмещающий котловины Тимирязевского болота, выполненный в направлении с северо-востока на юго-запад (рисунок 3).

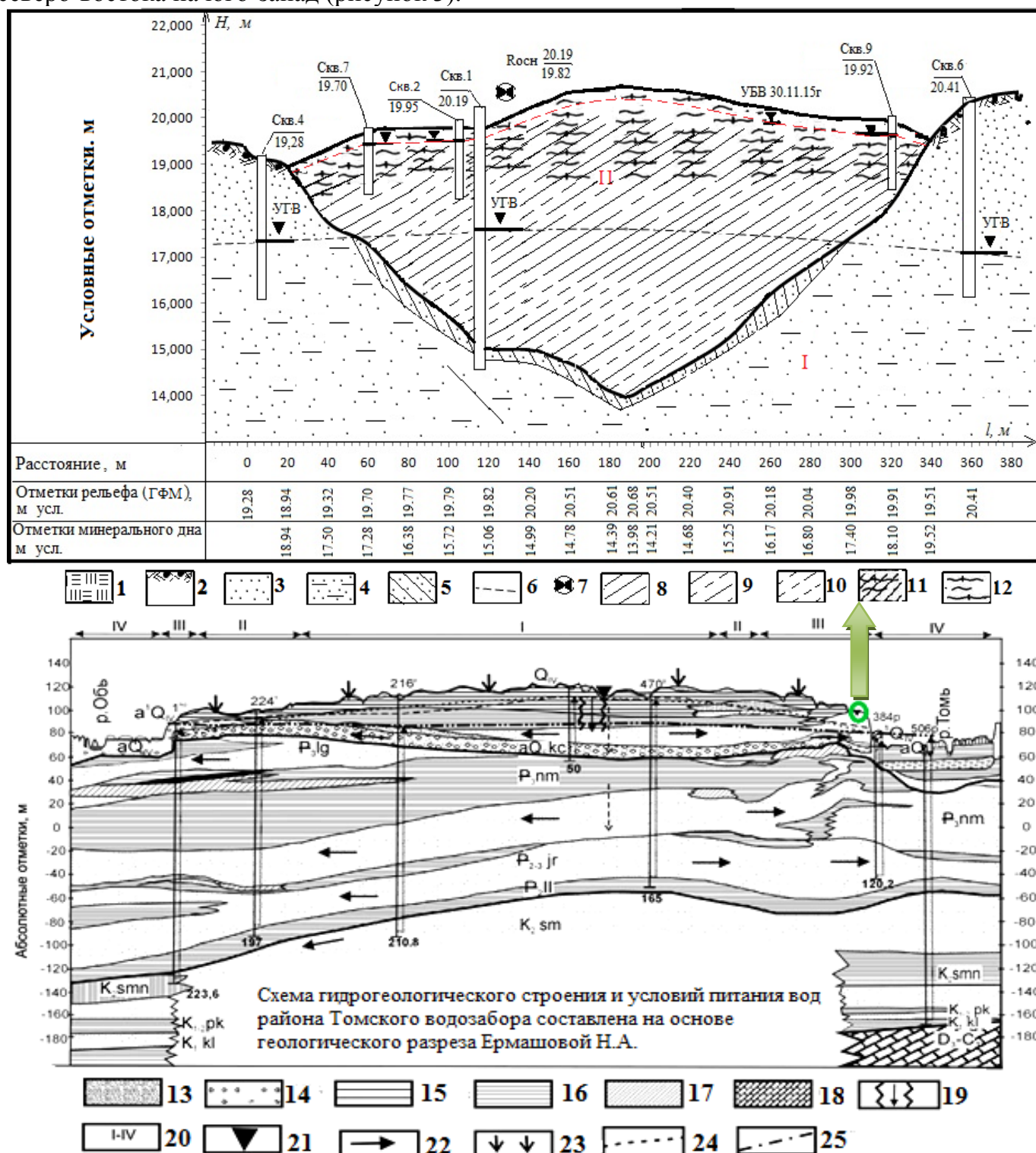


Рисунок 3 – Схематичный профиль котловины Тимирязевского болота (с северо-востока на юго-запад); условные обозначения: УГВ и УБВ – уровень грунтовых и болотных вод (уровни воды приведены по состоянию на 30.11.2015 г. В числителе – номер скважины, в знаменателе – условная отметка устья скважины); **I** – минеральный грунт; **II** – торфяная залежь; расположение скважин в плане показано на рисунке 2; 1 – торф; 2 – почвенный слой; 3 – песок; 4 – песок водоносный; 5 – супесь; 6 – уровень грунтовых и болотных вод; 7 – репер; 8 – топяно-осоковый; 9 – топяно-осоко-гипновый; 10 – топяно-гипновый; 11 – гипновый (комплексный); 12 – комплексный; 13 – песок; 14 – песок, гравий; 15 – суглинок; 16 – глина; 17 – супесь; 18 – глинистые сланцы; 19 – литологические окна; 20 – Режим питания: I – междуречный, II – склоновый, III – террасовый, IV – приречный; 21 – подземный водораздел; 22 – направление фильтрации; 23 – осадки; 24 – пьезометрическая поверхность неоген-четвертичного водоносного комплекса; 25 – пьезометрическая поверхность палеогенового водоносного комплекса

Выбранный участок является типичным для переходных долинных болот в подтаёжной зоне Западной Сибири и при этом находится вблизи эксплуатационных скважин Томского подземного водозабора.

3. Методика создания скважины и подготовки к проведению наблюдений предполагает последовательное выполнение следующих мероприятий: 1) подготовку площадки для размещения наблюдательных скважин, включая устройство деревянных настилов для прохода по болоту и предотвращения компрессионного воздействия на торфяную залежь в процессе наблюдений; 2) промерные работы и установку дополнительных скважин для измерения уровней болотных и грунтовых вод, определения направления фильтрационного потока; 3) установку опорной скважины (скважин) для пробоотбора с заглублением в минеральный грунт до уровня, расположенного ниже уровней грунтовых вод на прилегающем суходоле и глубины промерзания торфяных и минеральных грунтов; 4) установку дополнительных и вспомогательных скважин для наблюдений за: 4.1) уровнями грунтовых вод на прилегающем суходоле; 4.2) уровнями болотных вод; 4.3) колебаниями болотной поверхности; 4.4) отбора болотных вод из приповерхностного слоя. Расположение скважин выбирается с учётом возможности определения фильтрационного потока и размеров исследуемого объекта. Все указанные мероприятия проводятся с учётом данных дистанционного зондирования, материалов рекогносцировочного обследования, промерных и топогеодезических работ, определения ботанического состава торфов.

В рассматриваемом случае (на Тимирязевском болоте) рабочая колонна опорной скважины проходит вертикально через торфяную залежь толщиной 4,76 м и заглублена в минеральный грунт на 0,87 м (рисунок 1). Дополнительные скважины для измерения уровней грунтовых и болотных вод расположены: для грунтовых вод – по углам треугольника со сторонами 254–357–372 м, расположенных на суходоле на расстоянии 20–25 м от окраины болота; для болотных – по углам треугольника на расстоянии 195–270–290 м внутри болота на расстоянии 25–30 м от его границы. В центре дополнительных скважин находится площадка наблюдений с опорной и вспомогательными скважинами для отбора проб и измерения уровней болотных вод (рисунок 8).

4. Методика проведения пробоотбора и гидрогеологических наблюдений включает в себя последовательное проведение: 4.1) наблюдений за уровнями воды в опорной, вспомогательных и дополнительных скважинах (в одной системе высот) с учётом [Наставление..., Вып. 8, 1990]; 4.2) наблюдений за средней поверхности болота, выполняемых методом линейной таксации в соответствии с [Наставление..., Вып. 8, 1990]. Суть метода заключается в съёмке поверхности микрорельефа болота на линии заданной длины (линии таксации) по определённому количеству точек. Направление линии таксации выбирается с учётом особенности строения торфяной залежи, характера рельефа и направления линий стекания болотных вод (ориентировочно вдоль линий стекания); 4.3) отбора проб воды из вспомогательных скважин с приповерхностного слоя торфа, с учётом [Наставление..., Вып. 8, 1990]; 4.4) отбора интервальных и смешанных проб воды из опорной скважины в основные фазы водного режима (половодье, паводки, межень). В этом случае использовалось два способа пробоотбора (из опорной скважины).

Первый (базовый) способ применялся при поинтервальном отборе проб и заключался в том, что вода поступала в приёмную камеру пробоотборника фильтрационным потоком с требуемой глубины из опробуемого слоя торфа (пробоотборник погружался на тресе с разметкой в скважину и фиксировался на требуемой глубине; конструкция пробоотборника гарантирует поступление воды из исследуемого интервала глубин). Второй (дополнительный) способ использовался при отборе смешанных проб из общей массы воды поступающей в скважину с различных вертикальных интервалов в разрезе торфяной залежи по силиконовому шлангу, посредством создания вакуума в водоприёмнике.

Непосредственно на Тимирязевском болоте отбор проб воды из опорной скважины проводился поинтервально (интервалы по 0,5 м, за исключением верхнего) с глубин от 0,1 до 3,5 м в течение 2010–2015 гг. во время весеннего половодья, летне-осенней и зимней межени. Объём пробы воды – не менее 50 мл. Необходимо отметить, что на опорной скважине перфорация расположена равномерно по всей длине рабочей колонны, тогда как во вспомогательной скважине 2 перфорирована только часть обсадной трубы принимающая воду из нижней части деятельного горизонта.

После размещения пробоотборника на требуемой глубине, одновременно с определением уровня воды в скважине и проведением пробоотбора, решалась задача получения значений фильтрационных расходов воды на исследуемых вертикальных интервалах в торфяной залежи.

5. Методы аналитической обработки и анализ получаемых данных основываются на математических методах статистического анализа и метода математического обобщения. Статистический анализ рядов концентраций химических элементов (определяемых средствами лабораторного анализа отобранных проб воды), включает в себя: предварительный анализ исходных данных; проверку изучаемых рядов на случайность; проверку на однородность; расчет параметров их распределения; расчет погрешности параметров распределения. Метод математического обобщения представляет собой унифицирование полученных данных, с приведением их в единообразный, безразмерный вид с учётом пространственного распределения.

Особым видом работ в части обеспечения достоверности данных наблюдений была проверка отсутствия перетока воды между слоями торфяной залежи, которая осуществлялась определением герметичности исследуемого и смежными с ним интервалов, посредством создания вакуума и контролем его устойчивости на проверяемом интервале.

В целом отбор, подготовка и дальнейшая транспортировка проб воды осуществлялась в соответствии с требованиями с ГОСТ Р 51592-2000. В соответствии с разработанной методикой всего было отобрано 59 проб воды, по которым в аккредитованных лабораториях Томского политехнического университета НОЦ «Вода» ИПР и аккредитованном научно-аналитическом центре при ТПУ проведены анализы. Анализ отобранных проб болотных вод был проведен с использованием следующих методов: удельная электропроводность χ – кондуктометрический; pH и Eh – потенциометрический; SO_4^{2-} , Cl^- , Br – ионная хроматография; Ca^{2+} , HCO_3^- , химическое потребление кислорода (ХПК), фульво- (ФК) и гуминовые (ГК) кислоты, перманганатная окисляемость (П.О.), растворённый углекислый газ – титриметрический; NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Si – фотометрический; Na⁺, K⁺, Ni, Co, Al, Sr, Sb, Ba, Li – атомная абсорбция и атомно-эмиссионная спектрометрия; Cr – атомно-эмиссионная спектрометрия; Zn, Pb, Cd, Cu, Mn, As – инверсионная вольтамперометрия и атомно-эмиссионная спектрометрия. Статический анализ данных (включая выявление экстремальных значений) проведён согласно [Пособие.... 1984; Наставление.... Вып. 8. 1990; РД 52.24.622-2001; Требования..., 2002].

Второе защищаемое положение. *Выявлены закономерности зонально-временных изменений химического состава вод Тимирязевского болота, типичные для переходных болот подтаёжной зоны Западной Сибири и заключающиеся в следующем: 1) в разрезе торфяной залежи наименьшие значения минерализации болотных вод приурочены к деятельному горизонту (за счёт потребления минеральных солей в корнеобитаемом слое); 2) в течение гидрологического года максимальные концентрации главных ионов (за исключением Na⁺ и K⁺) наблюдаются в летнюю межень (при усилении*

биогеохимических процессов), максимальные концентрации микроэлементов, биогенных и органических веществ – в весеннее половодье (при увеличении поверхностного стока с прилегающих суходолов).

Воды исследуемого болота характеризуются по минерализации (согласно [Алёкин, 1970]) как пресные с минерализацией от очень малой (до 100 мг/дм³) до средней (200...500 мг/дм³), по величине pH (согласно [Молчанова и др., 2007]) – как кислые и слабокислые. Среди катионов преобладает ион Ca²⁺, анионный состав – смешанный с некоторым преобладанием ионов SO₄²⁻. Болотные воды содержат органические вещества в количестве, многократно превышающем аналогичные показатели для подземных вод района исследований, но в меньшем, по сравнению с водами других переходных болот в таёжной зоне Западной Сибири (таблица 1).

Таблица 1 – Средний химический состав болотных вод на участке наблюдений по всей глубине торфяной залежи

Показатель	Единицы измерения	ПДК _{хп}	Подземные воды в Обь-Томском междуречье			Тимирязевское болото		Среднее для переходных болот [Савичев, 2015]
			зоны аэрации [Ермашова, 1999]	неоген-четвертичных отложений [Шварцев, 1998]	Палеогеновых отложений [Шварцев, 1998]	A±δ	N	
pH	ед. pH	6,6–8,5	6,8	7,77	7,26	5,10±0,30	14	4,97
CO ₂	мг/дм ³	–	–	42,1	19,9	166,2±37,2	14	84,3
HCO ₃ ⁻	то же	–	430	281	345	13,8±7,8	19	37,7
SO ₄ ²⁻	–//–	500	9,2	0,41	0,32	15,5±3,0	19	8,9
Cl ⁻	–//–	350	25,6	4,09	6,42	8,6±4,1	19	6,3
Ca ²⁺	–//–	–	121	56,9	75,8	8,7±1,5	19	12,6
Mg ²⁺	–//–	50	15,5	15,0	14,5	3,3±1,0	19	4,2
Na ⁺	–//–	200	18,2 (Na ⁺ +K ⁺)	12,8	14,3	4,0±1,0	19	3,3
K ⁺	–//–	–	–	1,22	1,26	2,2±0,4	19	1,5
Σ _{mi}	–//–	1000	410	375	466	56,1±15,4	19	74,0
PO ₄ ³⁻	–//–	3,5	–	–	–	0,042±0,011	15	0,191
NO ₂ ⁻	–//–	3,3	–	0,018	0,004	0,036±0,017	16	0,052
NO ₃ ⁻	–//–	45	–	0,02	0,03	1,012±0,270	16	1,299
NH ₄ ⁺	–//–	1,9	–	0,69	0,62	4,25±0,57	16	3,294
Si	–//–	10	–	1,57	3,55	4,77±0,70	14	4,83
ХПК	мгО/дм ³	15	–	1,95	2,04	57,4±8,3	8	301,2
ФК	мг/дм ³	–	–	–	–	154,1±20,6	8	–
ГК	То же	–	–	–	–	34,5±11,6	8	–
Fe _{общ.}	–//–	0,3	–	0,03	1,71	31,84±8,92	14	2,828

Примечание: ПДК_{хп} – предельно допустимая концентрация, установленная для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения; A и δ – среднее арифметическое и погрешность его определения, $\delta = \sigma \cdot N^{-0,5}$; σ – среднее квадратическое отклонение; N – объём выборки; Σ_{mi} – сумма главных ионов

Изменения содержаний главных ионов и значений pH по глубине торфяной залежи имеют достаточно сложный характер, но их минимальные значения в целом приурочены к верхней части деятельного горизонта, что объясняется влиянием атмосферных осадков и талых вод на химический состав болотных вод у поверхности болота.

Изучение рядов фильтрационных расходов воды по глубине торфяной залежи, выраженных через значения относительной интенсивности фильтрации q_i^* (таблица 2) и полученных значений сумм главных ионов приведенных к среднему значению, (таблица 3) позволило выявить статистически значимую корреляционную связь между

химическим составом вод и гидрологическими условиями каждого генетически разнородного слоя торфа, в разрезе торфяной залежи.

Таблица 2 – Изменение по глубине торфяной залежи и во времени относительной интенсивности фильтрационных расходов в опорную скважину q_i^*

Глубина, м	Дата измерения					
	25.04.11 г.	01.09.11 г.	04.11.11 г.	13.04.12 г.	31.05.12 г.	31.07.12 г.
0,1	0,39	0,55	0,01	0,32	1,00	0,29
0,5	0,24	0,43	0,09	0,02	0,25	0,17
1,0	0,46	0,44	0,17	0,04	0,25	0,33
1,5	0,39	0,31	0,28	0,08	0,08	0,22
2,0	0,58	0,58	0,40	0,21	0,31	0,51
2,5	0,89	1,00	0,41	0,17	0,08	1,00
3,0	0,38	0,42	0,39	0,21	0,08	0,42
3,5	1,00	0,56	1,00	1,00	0,34	0,78

Примечание: $q_i^* = q_i/q_{\max}$, где q_i – расход воды, поступающей в скважину с i -ого интервала опробования (измерен объёмным методом с помощью пробоотборника, рис. 1), мл/мин; $q_{\max}$ – максимальное значение q_i для всех интервалов, мл/мин

Таблица 3 – Значения суммы главных ионов, приведенные к среднему значению, мг/дм³

Глубина, м	Дата измерения						
	25.04.11г	1.09.11г	4.11.11г	13.04.12г	31.05.12г	31.07.12г	среднее
0,1	56,82	44,6	58,8	44,5	6,77	49,5	43,50
0,5	128,2	54,3	74,5	92,8	88,50	61,30	83,27
1	53,28	57,2	67,4	79,5	56,8	53,2	61,23
1,5	65,11	48,9	69,5	85,4	68,3	63,4	66,77
2	54,58	52,2	47,3	81,3	90,3	36,4	60,35
2,5	15,13	17,8	49,8	86,7	96,10	19,00	47,42
3	46,59	52,4	61,2	57,1	66,4	43,2	54,48
3,5	17,0	59,4	12,1	23,8	72,3	14,9	33,25
среднее	54,59	48,35	55,08	68,89	68,18	42,61	56,28

Примечание: $C_{np} = \frac{oиф_{cp} \cdot C_{\phi}}{oиф}$, где C_{ϕ} – фактическое содержание химического показателя, определённое проведённым анализом отобранной пробы, мг/дм³; $oиф$ – относительная интенсивность фильтрационного расхода на каждом вертикальном интервале торфяной залежи; $oиф_{cp}$ – среднее значение относительной интенсивности фильтрационного расхода по всем вертикальным интервалам торфяной залежи

По значениям рядов относительной интенсивности фильтрационных расходов воды (ОИФ) по глубине торфяной залежи за период наблюдения (таблица 2) и приведенных к среднему значению сумм главных ионов (C_{np}) (таблица 3), была построена графическая зависимость отражающая взаимное распределение параметров этих характеристик (рисунок 4).

Анализ представленных на этом рисунке графиков позволил сделать вывод о том, что с глубиной, по мере ухудшения фильтрационных свойств торфов и увеличения времени взаимодействия воды с органическими и органоминеральными соединениями, это влияние снижается.

В нижних слоях торфяной залежи отмечены достаточно сильные колебания суммарного содержания растворённых солей, связанные, предположительно, с притоком

более минерализованных подземных вод (таблица 1 и 4) и неоднородностью фильтрационных свойств торфов по глубине (таблица 2).

Сделанный вывод подтверждает наличие тенденций закономерно взаимно противоположной изменчивости распределения сумм главных ионов и фильтрационного режима на каждом рассматриваемом вертикальном интервале как во времени (в разные периоды опробирования), так и по интервалам опробирования.

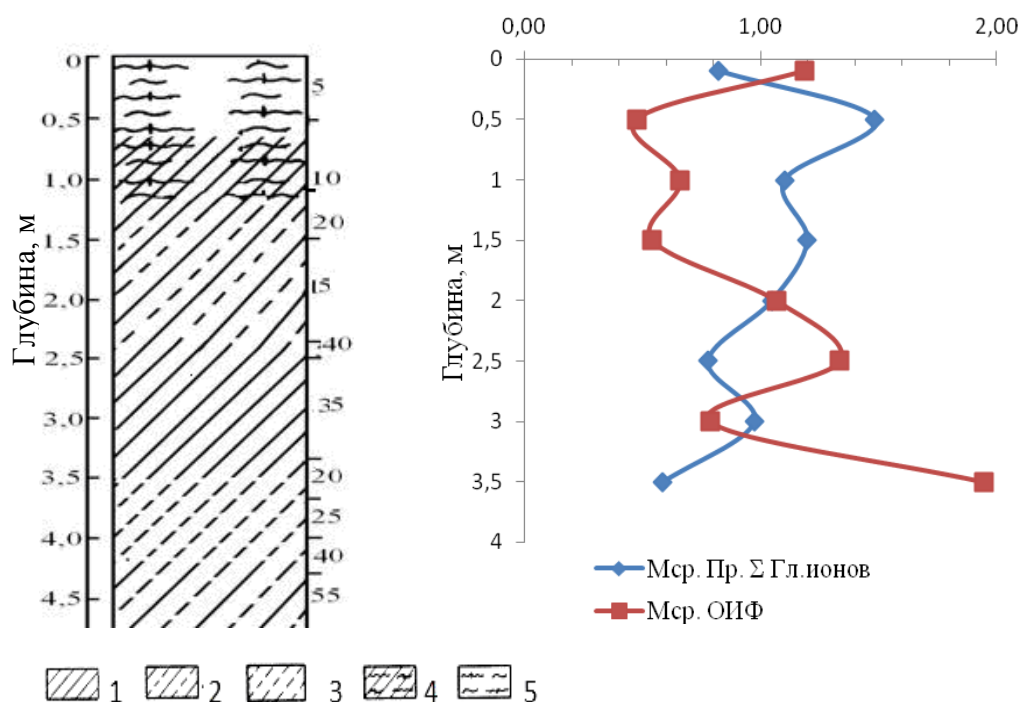


Рисунок 4 – Распределение сумм главных ионов к относительной интенсивности фильтрации в стратиграфическом разрезе торфяной залежи, выраженное в безразмерных значениях, где *низинные торфа*: 1 – топяно-осоковый, 2 – топяно-осоко-гипновый, 3 – топяно-гипновый; 4 – *переходный* – гипновый (комплексный); *верховые*: 5 – комплексны

Неоднозначное изменение концентраций в вертикальном разрезе характерно для большинства изученных веществ (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Br, Co, Mn, Sr, Zn, Cu, Ba, Ni, F^- , Li, ФК, значений удельной электропроводности и перманганатной окисляемости). Линейные тенденции выявлены только для Si, Al, ГК (уменьшение с глубиной) и Сг (увеличение с глубиной; таблица 4).

Подобное распределение веществ в болотных водах в определённой степени может быть связано с выпадением из атмосферного воздуха загрязняющих веществ вследствие хозяйственной деятельности [Межибор, 2009] и с колебаниями уровней подземных вод вследствие работы Томского водозабора. Значительное влияние на содержания веществ в водах на разных глубинах, несомненно, оказывают процессы торфообразования и эволюции болотной экосистемы в целом. Биогеохимические аспекты этого влияния достаточно подробно раскрыты в работах О.Л. Лисс, В.К. Бернатониса, Л.И. Инишевой, Н.М. Рассказова, В.С. Архипова и многих других [Березин и др., 2005; Лисс и др., 2001; Савичев, 2009, 2015; А.Д. Назаров, 1979; Бернатонис и др., 2002; Бахнов, 2006; Savicheva, Inisheva, 2008]. В частности, О.Г. Савичевой и Л.И. Инишевой [2008] показано, что ферментативная активность торфов характерна для торфяной залежи на любых глубинах, из чего следует вывод о постоянной потенциальной возможности трансформации органического вещества, фактическая реализация которой наблюдается только при определённых условиях.

Изучение временных изменений химического состава болотных вод приуроченных к слоям деятельного горизонта позволило установить, что максимальное содержание

большинства веществ отмечается либо в весенний (Na^+ , K^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Si , Zn , Cd , Pb , Cu , перманганатная и бихроматная окисляемость, ГК, ФК), либо в летний (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , сумма главных ионов Σ_{II}) периоды (рисунок 5).

Таблица 4 – Химический состав болотных вод в опорной скважине

Пока- затель	Едини- цы измере- ния	Дата отбора пробы									
		27.04.11 г.				02.05.11 г.					
		Глубина отбора, м									
		0,1	0,5	1,0	1,5	0,1	1,0	2,5	3,0	3,5	4,0
pH	ед. pH	3,81	5,62	5,31	5,4	–	–	5,93	–	–	–
χ	мС/см	70,4	108,8	46,6	131,0	–	–	116,6	–	–	–
CO ₂	мг/дм ³	59,8	174,6	154,0	400,4	–	–	255,2	–	–	–
HCO ₃ [–]		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SO ₄ ^{2–}		2,3	22,7	36,8	22,7	3,2	11,8	17,9	11,2	9,6	13,4
Cl [–]		2,0	1,8	1,1	3,0	1,7	17,7	11,5	9,0	15,1	10,6
Ca ²⁺		6,8	3,0	1,4	1,7	5,1	10,4	8,7	7,0	11,8	10,0
Mg ²⁺		0,3	0,6	0,4	0,4	1,4	2,5	2,3	1,8	3,4	2,5
Na ⁺		0,5	1,5	0,9	1,4	0,9	11,2	11,5	8,2	14,0	10,7
K ⁺		0,5	2,2	1,2	1,7	1,2	5,1	6,2	3,3	4,6	3,5
Σ _и		13,9	33,2	43,2	32,3	14,9	60,1	59,6	41,9	60,0	52,1
PO ₄ ^{3–}		0,144	0,016	0,020	0,018	0,040	0,040	0,07	0,012	0,010	0,022
NO ₂ [–]		0,005	0,009	0,006	0,003	0,002	0,018	0,02	0,008	0,026	0,021
NO ₃ [–]		1,850	4,140	0,120	0,075	0,075	1,220	0,67	0,077	0,170	0,220
NH ₄ ⁺		3,36	1,09	1,70	2,14	0,92	6,77	4,91	5,99	6,82	6,57
Si		4,91	4,21	4,10	3,46	–	–	4,84	–	–	–
П.О.		97,6	107,2	103,2	91,2	–	–	–	–	–	–
ФК		–	123,6	136,1	125,6	–	–	–	–	–	–
ГК		–	20,4	14,1	10,1	–	–	–	–	–	–
F [–]		0,10	0,10	0,11	0,32	0,13	0,25	0,11	0,13	0,29	0,24
Li	мкг/дм ³	0,5	1,8	2,9	3,1	7,4	7,4	2,0	4,3	4,4	3,7
Zn		8,1	6,9	4,6	12,4	–	–	8,7	–	–	–
Cd		0,1	7,0	3,0	6,0	–	–	9,0	–	–	–
Pb		0,8	10,0	8,0	38,0	–	–	10,0	–	–	–
Cu		15,0	9,0	17,0	94,0	–	–	163,0	–	–	–
As		–	2,5	2,5	2,5	–	–	2,5	–	–	–
Mn		–	545	381	832	–	–	222	–	–	–
Al		–	635	567	529	–	–	673	–	–	–
Ba		–	43,0	77,0	41,0	–	–	38,0	–	–	–
Co		–	8,0	5,0	26,0	–	–	54,0	–	–	–
Cr		–	3,0	4,0	15,0	–	–	28,0	–	–	–
Ni		–	176,0	38,0	247,0	–	–	183,0	–	–	–
Sb		–	2,5	2,5	2,5	–	–	8,0	–	–	–
Sr		–	62,0	54,0	68,0	–	–	58,0	–	–	–
Br		–	230	63	12	63	63	39	27	57	49

Примечание: глубина залегания болотных вод по состоянию на 27.04.2011 г. составила 0,27 м, а 02.05.2011 г. – 0,26 м

Этот факт объясняется поступлением ряда веществ с талыми водами и поверхностным стоком с суходолов (в том числе, в результате растворения пылевых частиц кислыми талыми и болотными водами), а также с усилением биохимических процессов в летний период при наиболее оптимальных условиях развития макро- и микрофлоры. Именно в летние месяцы увеличивается насыщение болотных вод деятельного горизонта кислородом, возрастает интенсивность трансформации органических веществ и происходит смещение углеродного баланса в сторону увеличения концентраций гидрокарбонат-иона и, как следствие, общей минерализации.

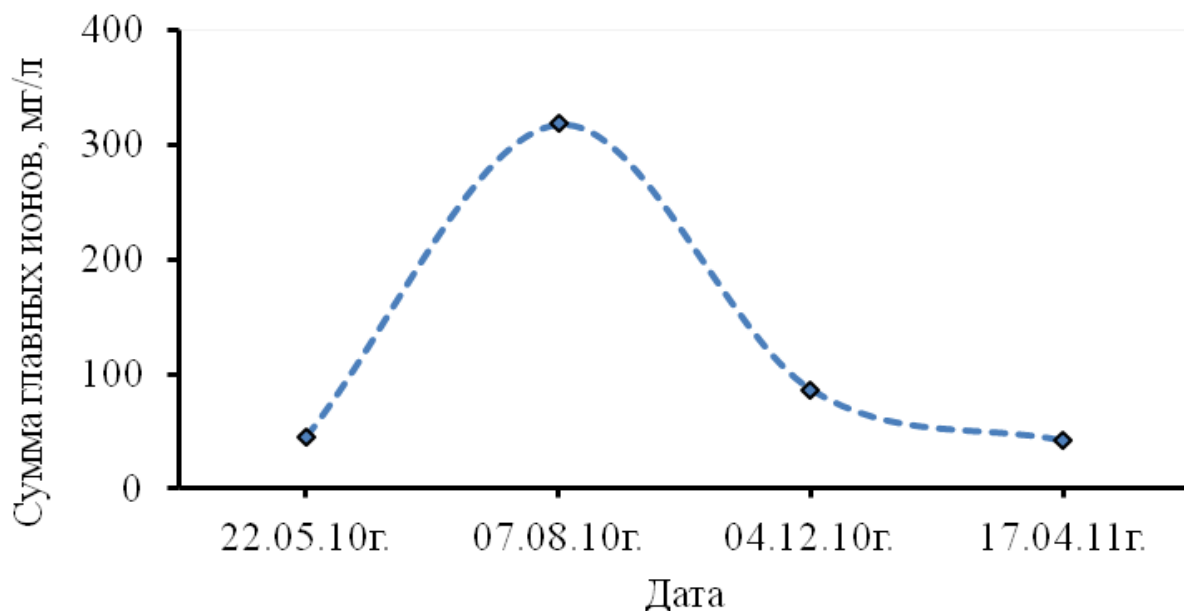


Рисунок 5 – Изменение суммы главных ионов в болотных водах Тимирязевского болота на глубине 1,7 м (от поверхности) в 2010–2011 гг.

Третье защищаемое положение. *Зонально-временные изменения химического состава болотных вод в значительной степени определяются водным режимом болота. Ключевыми характеристиками водного режима является средний уровень болотных вод и амплитуда его колебаний, определяющие положение границы доступа кислорода, смены окислительно-восстановительных условий и фильтрационных свойств торфов. Влияние Томского подземного водозабора на гидрогеохимический режим Тимирязевского болота, расположенного в 50-60 м от ближайших эксплуатационных скважин, проявляется, главным образом, в увеличении амплитуды колебаний уровней болотных вод и, как следствие, в формировании полимодального профиля концентраций растворённых веществ по глубине торфяной залежи.*

Анализ опубликованных другими авторами материалов изучения болот Сибири [Болота Западной Сибири..., 1976; Лисс и др., 2001; Инишева, Инишев, 2001; Berezin et al., 2007; Савичев, 2015] и данных, полученных непосредственно на исследуемом объекте (таблица 2–4; рисунок 4) позволил предположить, что условия трансформации органических веществ в торфяной залежи и формирования химического состава болотных вод в значительной степени определяются водным режимом болота. Например, в случае суммарного содержания растворённых солей их минимальные значения, зафиксированные в деятельном горизонте торфяной залежи, во многих случаях были связаны с поступлением талых снеговых вод в период весенне-летнего половодья. Максимальные же значения отмечаются в инертном горизонте, причём прослеживается определённая цикличность изменений по глубине водопритока и суммы главных ионов (таблица 3). Также следует отметить, что максимальные значения суммы главных ионов в инертном горизонте наблюдаются с небольшой задержкой относительно подъёма более минерализованных грунтовых вод на прилегающих суходолах в конце весенне-летнего половодья (рисунок 5).

Изучение связей между водным и гидрогеохимическим режимом исследуемого болота, расположенного в зоне влияния первой и второй линии эксплуатационных скважин Томского подземного водозабора, невозможно без анализа ситуации, возникшей в рассматриваемом районе в результате строительства и многолетней эксплуатации указанной водохозяйственной системы. Воздействие этого объекта, на компоненты геологической среды, согласно материалам режимных гидрогеологических наблюдений, выполняемых АО «Томскгеомониторинг» [Состояние геологической среды..., 2001, 2012, 2014], связано с образованием депрессионной воронки значительных размеров.

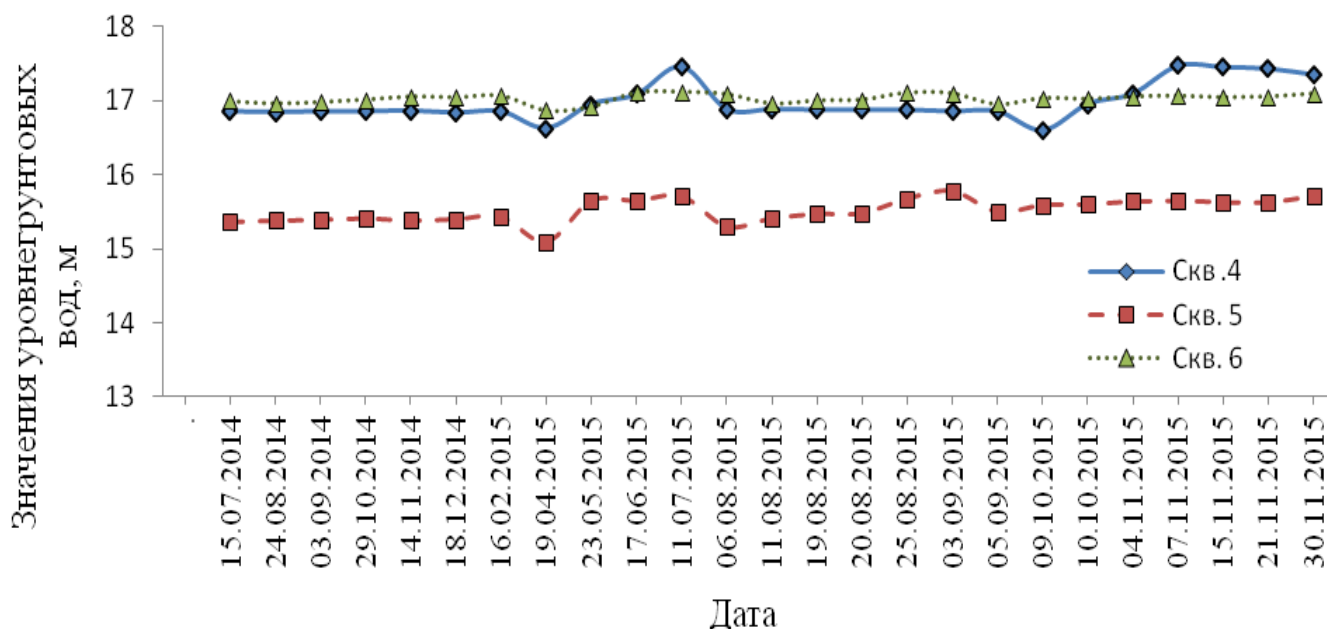


Рисунок 6 – Графики изменения уровней грунтовых вод по периметру исследуемого болота в 2014–2015 гг.; нумерация скважин соответствует рисунку 2

При этом необходимо отметить, что во второй половине 2006 г. в условиях значительного снижения количества эксплуатируемых скважин на второй и третьей линии водозабора произошло увеличение нагрузки на первую линию. В связи с этим, по сравнению с 2005 г., на первой линии водозабора произошло общее снижение уровня подземных вод в палеогеновом комплексе более чем на 3 м, а в районе расположения второй и третьей очередей уровень подземных вод, наоборот, повысился на 1,6 м.

Анализ динамики уровней подземных вод на режимных скважинах в районе исследуемого болота (скв. 340р – аллювиальные отложения, среднее значение уровня подземных вод 93,33 м в Балтийской системе высот (БС), средняя глубина – 17,87 м, расположена в 4,5 км от болота (с 2006 г. не функционирует); скв. 386р – водоносные отложения четвертичного и палеогенового возраста, средний уровень подземных вод – 77,53 м БС, средняя глубина – 14,66 м, расположена в 4,1 км от болота) не позволили сделать вывод о значительных однонаправленных многолетних изменениях гидродинамических условий в течение последних тридцати лет (рисунок 7).

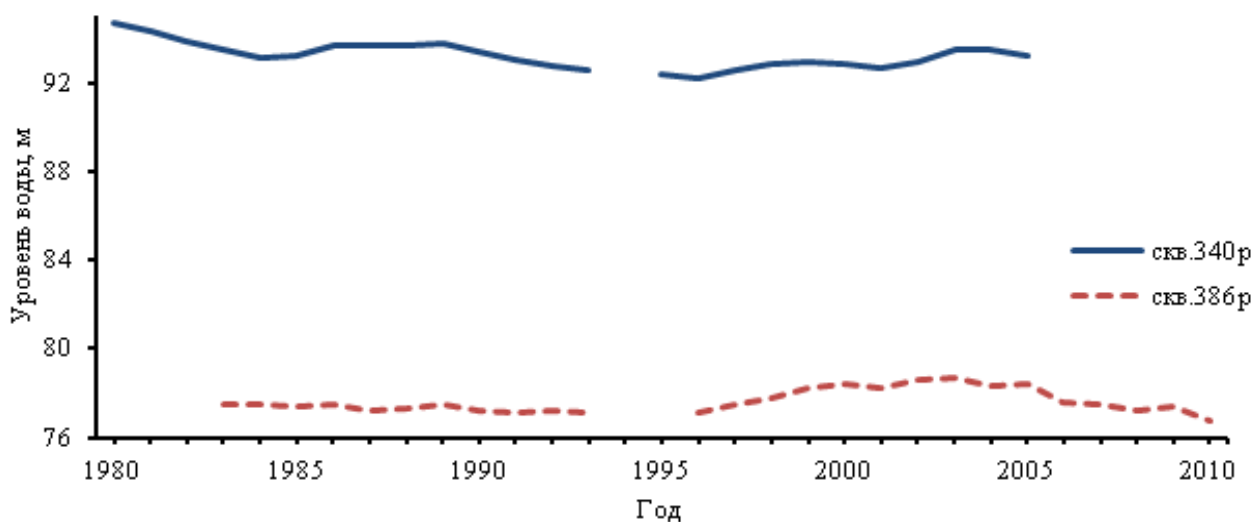


Рисунок 7 – Изменение уровней подземных вод в режимных скважинах 340р и 386р на территории Томского подземного водозабора (по данным АО «Томскгеомониторинг»)

Определённое снижение уровней подземных вод в скважине 386р относительно значений, характерных для первой половины 2000-х гг., зафиксировано одновременно с общим увеличением уровней воды на ряде других скважин, в частности, на режимной скважине 192р у с. Тахтамышево [Состояние геологической среды..., 2001, 2012, 2014].

С целью изучения влияния работы эксплуатационных скважин (1э и 2э), первой линии Томского водозабора, на уровенный режим грунтовых вод и выявление гидравлической связи этих вод с болотными водами Тимирязевского болота, в скважинах 4 – 6, (расположенных в границах прилегающего суходола на расстоянии 20-30 м от его границы) проводились наблюдения за их уровенным режимом. Расположение скважин представлено на рисунке 8.

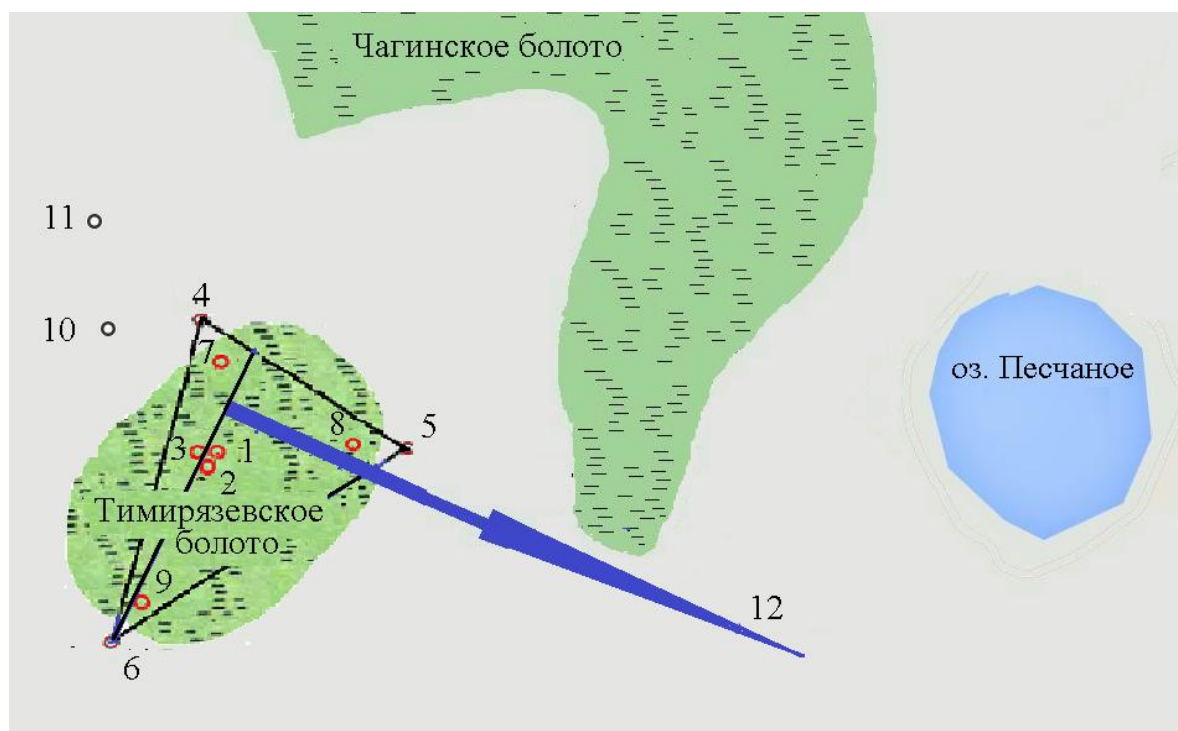


Рисунок 8 – Расположение скважин в районе проводимых исследований:

1 – опорная скважина; 2 – вспомогательная скважина; 3 – место постоянного отбора болотных вод из корнеобитающего слоя деятельного горизонта торфяной залежи; 4–6 – дополнительные скважины для измерения уровней грунтовых вод; 7–9 – дополнительные скважины для измерения уровней болотных вод; 10 – 11 ближайшие эксплуатационные скважины Томского подземного водозабора; 12 – направление фильтрационного потока при ненарушенном уровне грунтовых вод

По результатам полученных значений построены графики изменения уровней, представленные на рисунке 6, из которых видно, что влияние работы ближайшей к исследуемому болоту эксплуатационной скважины 1э (в 50 м от окраины болота), проявляется в изменении уровня грунтовых вод наблюдаемых в скважине 4. Отмечено, что максимумы уровня грунтовых вод, наблюдаемые в скважине 4, совпадают с периодами простоя скважины 1э, в меньшей степени – в скважине 5 и практически не отмечено в скважине 6; скважины расположены в 20-30 м от границы болота).

По полученным значениям уровней воды в скважинных 4–6, было проведено определение направления фильтрационного потока грунтовых вод в условиях не нарушенного уровенного режима (при значениях уровня грунтовых вод в условиях простоя скважины 1э и 2э Томского подземного водозабора). Выполненные расчеты показали, что в этом случае угол падения плоскости зеркала подземных вод определяет

юго-восточное направление фильтрационного потока грунтовых вод, где происходит их дренирование в русло р. Кисловка (линия 12 рисунок 8).

В условиях эксплуатации первой скважины 1э Томского подземного водозабора отмечено значительное понижение уровня грунтовых вод наблюдаемое в дополнительной скважине 4 и незначительно понижение в скважине 5. По проведенным расчетам, в условиях измененного уровня грунтовых вод наблюдаемое в этих скважинах, направление фильтрационного потока грунтовых вод происходило бы восточней на 14^0 от его действительного направления фильтрации.

Появление динамично изменчивой области криволинейной (депрессионной) поверхности зеркала грунтовых вод, связанной с режимом работы первой эксплуатационной скважины водозабора, указывает на наличие связи между режимом эксплуатации водозабора и положением уровня грунтовых вод. Проведенный расчет показал, что горизонтальная плоскость зеркала грунтовых вод пересекает болотную котловину выше минерального дна болота в месте расположения опорной скважины на 2,61 м (рисунок 3).

Из этого можно сделать вывод, что образование кривой депрессии грунтовых вод, вызванное работой скважин 1э и 2э, носит локальный характер охватывая незначительную площадь и не оказывает значимого влияния на общее направление потока грунтовых вод. Однако установленная амплитуда колебаний уровней ГВ, отмеченная в скважине 4, в условиях существующей гидравлической связи болотных и грунтовых вод, в значительной степени оказывает влияние на изменчивость условий водного режима изучаемого болота.

Наблюдение за урочным режимом в вспомогательной скважине 2, выявило значительное понижение уровня болотных вод. В среднем за период наблюдений амплитуда колебаний уровней болотных вод Тимирязевского превысила диапазон колебаний уровней воды на типичных природных объектах в два раза, и составила 0,3...1,5 м, в то время как по материалам наблюдений проводимых на Васюганском болоте, амплитуда колебания уровней (за тот же период) составила 0,2...0,7 м. [Савичев и др., 2010; Савичев, Шмаков, 2012].

Одновременные наблюдения за уровнями воды в опорной скважине 1 и вспомогательной 2 позволили выявить периоды, в которые проявлялось несовпадение значений уровней воды в этих скважинах, превышающих разницу между ними в 2 м, как показано на рисунке 3.

Анализ полученных данных позволил установить, что несоответствие значений уровней воды в этих скважинах, наблюдается в условиях понижения уровня грунтовых вод и ограниченного поступления на поверхность болота атмосферных осадков и вод поверхностного стока осуществляемого с территории прилегающего суходола.

На основе проведенных исследований сделан вывод, что основным фактором влияющим на проявление различия между уровнем болотных вод (скважина 2) и балансовым уровнем болотных вод (скважина 1) и как следствие аномальным понижением уровня болотных вод в скважине 2 является изменение степени водонасыщения слоев торфа в разрезе торфяной залежи. Причиной этого являются условия насыщения грунтовыми водами придонного слоя инертного горизонта, при наличии гидравлической связи болотных и грунтовых вод, а также дефицит насыщения верхних слоев деятельного горизонта водами атмосферных осадков. Подобные условия обусловлены различной водопроницаемостью слоев торфа в разрезе торфяной залежи, что является одним из основных факторов определяющих различие наблюдаемых уровней (рисунок 3).

Так как торфяная залежь болота является совокупностью слоев торфа различного видового состава, то фильтрационный режим этих слоев обусловлен их фильтрационными свойствами определяемыми видовым составом торфа характеризующим его структуру, с учетом возможности изменения степени своего водонасыщения за счет гравитационных сил и реакции на компрессионное воздействие. Кроме того, условия формирования торфа обуславливают слоистость его строения, что определяет преобладание интенсивности горизонтальной фильтрации над вертикальной. Это приводит к образованию условий снижения водонасыщенности торфа между максимально насыщенными слоями придонного и насыщенными слоями деятельного горизонта

По результатам исследований установлена амплитуда колебания степени максимальной водонасыщенности между нижней границей максимально водонасыщенного слоя деятельного горизонта и верхней границей максимально водонасыщенного слоя инертного горизонта в разрезе торфяной залежи, изменяющаяся в пределах 100 – 91%.

Снижение уровня болотных вод деятельного горизонта, происходит за счет горизонтальной фильтрации по линиям стока. В периоды поступления атмосферных вод на поверхность болота, происходит пополнение дефицита водонасыщения нижележащих слоев торфа в условиях его уменьшения за счет понижения гидравлически связанных грунтовых вод, питающих придонные горизонты торфяной залежи. В связи с тем, что расход на вертикальную фильтрацию значительно меньше, чем на горизонтальную (с учетом уменьшения коэффициентов фильтрации в инертных слоях залежи) и при условии периодического пополнения его водами атмосферных осадков, проявляется инертность изменения уровня болотных вод, создавая тем самым эффект «подвешивания» вод деятельного горизонта ниже которого слои торфа (по мере увеличения глубины) могут уменьшать своё предельное водонасыщение.

В рассматриваемом случае горизонт болотных вод в строении залежи, соответствующий уровню грунтовых вод наблюдаемый в скважинах 4 – 6 (площадь суходола прилегающая к болотной котловине), является подпорным. В случае падения уровня грунтовых вод, на прилегающем суходоле происходит возникновение напора придонного горизонта вод болота, активизируя тем самым горизонтальную фильтрацию болотных вод по линиям стока в дно болотной котловины, пополняя болотными водами горизонт распространения понизившегося уровня грунтовых вод. Это приводит к постепенному снижению уровня горизонта вод минерального питания придонного слоя торфяной залежи болота.

Значительное понижение уровня болотных вод является, в первую очередь, следствием понижения балансового уровня болотных вод, вызванного снижением уровня грунтовых вод питающих нижние слои залежи. Это обуславливает относительную увлажненность видовых слоёв торфа слагающих нижележащие слои торфа инертного горизонта, и как следствие, оказывает влияние на гидрохимический фон этого горизонта.

В целом, влияние Томского подземного водозабора на водный и гидрогеохимический режим исследуемого болота очевидно и сводится к следующему. Во-первых, характер внутригодового изменения уровней болотных вод определяется, прежде всего, режимом грунтовых вод, взаимосвязь которого с отбором воды из палеогеновых отложений меняется во времени и по территории Обь-Томского междуречья. На рассматриваемой территории, расположенной на границе долины реки Томи на стыке суходольного соснового бора и переходного болота, судя по изменениям уровней грунтовых вод, наблюдается террасовый режим грунтовых вод при сочетании в

разные периоды года подпорного и нисходящего типов взаимодействия поверхностных и подземных вод.

Во-вторых, механизм взаимосвязей между подземными напорными и безнапорными водами, болотными и речными водами – нелинейный. Его устойчивость определяется в значительной мере общим состоянием сопряжённых ландшафтов долины реки Томи и прилегающих территорий. При активизации хозяйственной деятельности на этих территориях вероятность резкого усиления этих связей очень высока. Соответственно, при застройке приречных территорий следует ожидать существенное изменение химического состава подземных и болотных вод и водного режима болота. В-третьих, неоднозначное изменение химического состава болотных вод по глубине торфяной залежи определяется, прежде всего, средним уровнем болотных вод и амплитудой его природно-антропогенного изменения, определяющими положение границы доступа кислорода и смену фильтрационных свойств торфов, иными словами – границу биогеохимических барьеров – главных факторов увеличения концентраций ряда веществ в слоях торфяной залежи.

Основные выводы

В результате выполненных работ разработан методический комплекс исследования гидрогеохимических условий на болотах, представляющий совокупность оборудования, методик его размещения, проведения гидрогеохимических наблюдений и обработки результатов полевых и лабораторных работ. Выявлены закономерности зонально-временных изменений химического состава вод Тимирязевского болота, типичного для переходных болот подтаёжной зоны Западной Сибири и заключающиеся в следующем: 1) в разрезе торфяной залежи наименьшие значения минерализации болотных вод приурочены к деятельному горизонту (за счёт потребления минеральных солей в корнеобитаемом слое); 2) в течение гидрологического года максимальные концентрации главных ионов (за исключением Na^+ и K^+) наблюдаются в летнюю межень (при усилении биогеохимических процессов), максимальные концентрации микроэлементов, биогенных и органических веществ – в весеннее половодье (при увеличении поверхностного стока с прилегающих суходолов). Установлено, что зонально-временные изменения химического состава болотных вод в значительной степени определяются водным режимом болота, определяющим положение границы доступа кислорода, смены окислительно-восстановительных условий и фильтрационных свойств торфов. Показано, что эти закономерности в значительной степени определяются водным режимом болота.

При этом ключевыми характеристиками водного режима является уровень болотных вод и амплитуда его колебаний, определяющие положение границы доступа кислорода, смены окислительно-восстановительных условий и фильтрационных свойств торфов. Из этого следует, что влияние Томского подземного водозабора на гидрогеохимический режим Тимирязевского болота, расположенного в 50-60 м от ближайших эксплуатационных скважин, проявляется, главным образом, в увеличении амплитуды колебаний уровней болотных вод и, как следствие, в формировании полимодального профиля концентраций растворённых веществ по глубине торфяной залежи.

При застройке приречных территорий в районе города Томска следует ожидать существенное изменение химического состава подземных и болотных вод и водного режима болота.

Список публикаций по теме диссертации в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК

1. **Шмаков, А.В.** Водный и гидрохимический режим восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь, Россия) / О.Г. Савичев, В.А. Базанов, А.А. Скугарев., Ю.А. Харанжевская, А.В. Шмаков // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 1, С. 119 – 124.

2. **Шмаков, А.В.** 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.

3. **Шмаков, А.В.** Метод определения изменения химического состава болотных вод от их фильтрационного режима / А.В.Шмаков // Вода: химия и экология. — 2015. — № 10. — с. 11-18. — <http://watchemec.ru/article/27617/>

Патенты

4. **Шмаков, А.В.** Пат. РФ. 2532505. Способ определения равновесности химического состава болотных вод от их гидродинамических условий./ А.В. Шмаков, Т.Х. Шмакова // Заявлено 23.07.2013. Опубликовано 10.11.2014. Бюл. № 31. Приоритет: 23.07.2013 г.

5. **Шмаков, А.В.** Пат. 2548464 РФ. Комплекс для отбора проб воды и способ его работы./ А.В. Шмаков, Т.Х. Шмакова // Заявлено 15.07.2013. Опубликовано 20.04.2015. Бюл. № 11. Приоритет: 15.07.2013 г.

6. **Шмаков, А.В.** Пат. 2552267 РФ. Комплекс для отбора проб газа. / А.В. Шмаков, Т.Х. Шмакова // Заявлено 01.04.2014. Опубликовано 10.06.2015. Бюл. № 16. Приоритет: 01.04.2014 г.

Прочие публикации

7. **Шмаков, А.В.** Методический комплекс исследования химического состава болотных вод и его апробирование на примере «Тимирязевского» болота / А.В. Шмаков // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы. – Томск. – 2015.– с. 301 – 305.