

На правах рукописи

**Харанжевская Юлия Александровна**

Подземный сток бассейна р. Чая (Западная Сибирь)  
и его многолетняя изменчивость

25.00.07 – гидрогеология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2011

Работа выполнена в Национальном исследовательском Томском политехническом университете и ГНУ Сибирском НИИ сельского хозяйства и торфа Россельхозакадемии.

Научный руководитель: доктор географических наук,  
**Савичев Олег Геннадьевич**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор  
**Попов Виктор Константинович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
**Здвижков Михаил Александрович**

Ведущая организация: ОАО «Томскгеомониторинг», г. Томск

Защита состоится «31» мая 2011 г. в 16 30 час. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ 212.269.03 при Национальном исследовательском Томском Политехническом университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 2а, стр. 5 (20 корпус), ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Автореферат разослан «29» апреля 2011 г.

Ученый секретарь совета,  
кандидат геолого-минералогических наук

О.Е. Лепокурова

### **Общая характеристика работы**

**Актуальность.** Таежная зона Западной Сибири характеризуется широким распространением болотных ландшафтов, что во многом определяет условия формирования подземного стока и специфику геоэкологической обстановки в регионе. Одной из проблем исследуемой территории является то, что распространение болот существенно ограничивает хозяйственную деятельность и ухудшает условия жизни населения. Болота, аккумулируя большие объемы атмосферной влаги, влияют на геоэкологическое состояние, гидрогеологический и гидрологический режимы исследуемой территории. В связи с этим необходима проработка методологии оценки подземного стока заболоченных территорий и соответственно его оценка. Указанными вопросами в разное время плодотворно занимались [Глушков, 1929; Огиевский, 1933; Саваренский, 1934; Львович, 1938; Поляков, 1947; Макаренко, 1947; Воскресенский, 1956; Куделин, 1949, 1960, 1965; Кусковский, 1965; Смоленцев, 1967; Kunkle, 1965; Попов, 1968; Де Уист, 1969; Chow et al., 1988; Зекцер, Джамалов, 1989; Rutledge, Daniel, 1994; Покровский и др., 2001; Марков, 2002; Савичев, 2005, 2010 и др.]. Значительный вклад в изучение вопросов, сопряженных с оценкой подземного стока и вопросов, связанных с методологией и методикой гидрогеологических, гидрологических, гидрохимических и других исследований заболоченных территорий внесли А.Д. Дубах, К.Е. Иванов, В.В. Романов, С.М. Новиков, И.Л. Калужный, Е.М. Черняев, В.В. Панов, Д.В. Московченко и др. Основы классификации болот, методология исследований и общие представления о механизме болотообразования представлены в работах Н.Я. Кац, М.С. Боч, М.И. Нейштадт, О.Л. Лисс, С.Э. Вомперского, А.А. Сирина и др. Ряд особенностей этого процесса в Западной Сибири раскрыт в работах Л.И. Инишевой, Н.Г. Инишева, Д.А. Буракова, А.И. Петрова, С.Л. Шварцева, Н.М. Рассказова, Л.П. Рихванова, В.К. Бернатониса, Е.Д. Лапшиной, Н.Н. Пологовой, В.А. Базанова, С.Н. Кирпотина, О.Г. Савичева, М.А. Здвижкова и др., благодаря которым выявлены закономерности изменения элементов водного баланса и химического состава болотных вод и торфов в разных типах болот.

Тем не менее, в настоящее время подземный водный и сток растворенных веществ с заболоченных территорий, условия его формирования и закономерности пространственно-временных изменений изучены недостаточно полно для принятия эффективных управленческих решений в части использования и охраны водных ресурсов. Не разработана теория и методология оценки и прогноза состояния болотных экосистем в условиях климатических изменений, наблюдаемых в Северной Евразии в целом и в Западной Сибири в частности, что определяет актуальность исследований в данном направлении. В рассматриваемой работе проблема определения подземного стока с

заболоченных территорий исследуется на примере бассейна р. Чая, представляющего собой характерный участок южно-таежной подзоны Западной Сибири. Указанная площадь крайне мало населена и слабо освоена в хозяйственном отношении, отличается высокой заболоченностью и широким распространением верховых болот. Вместе с тем здесь возможна разработка крупнейшего месторождения железной руды, что потребует проведения комплексного исследования окружающей среды, в том числе гидрогеологического и геоэкологического анализа территории.

**Цель работы** состоит в определении подземного стока и его многолетней изменчивости, оценке его роли в формировании современного состояния заболоченной территории южно-таежной подзоны Западной Сибири.

Для решения поставленной цели были определены следующие **задачи**:

- 1) определение подземного стока в бассейне р. Чая как одного из интегральных показателей состояния водосборов;
- 2) анализ многолетней изменчивости подземного стока в бассейне р. Чая и климатических факторов его формирования;
- 3) анализ связей между подземным стоком и заболоченностью;
- 4) районирование территории бассейна р. Чая с учетом данных о подземном стоке.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований является бассейн р. Чая – левобережного притока р. Обь. Выбор объекта исследований обусловлен его типичностью для условий южно-таежной подзоны Западной Сибири. В процессе исследований использовались гидролого-гидрогеологический, географо-гидрологический, ландшафтно-геохимический и статистический методы, при определении эколого-геохимического состояния природных вод – современные методы определения химического состава вод.

**Исходные материалы.** Исходной информацией для проведения исследований послужили: 1) материалы наблюдений Росгидромета за период с 1933 по 2007 гг. за расходами и уровнями воды р. Чая у с. Подгорное, р. Бакчар у с. Горелый, р. Икса у с. Плотниково, р. Андарма у с. Панычево, р. Парбиг у с. Веселый, р. Бакчар у с. Полянника, р. Ключ у с. Полянника; 2) данные геолого-разведочной экспедиции (ГРЭ) и ОАО «Томскгеомониторинг» об уровнях грунтовых вод с 1965 по 2005 г. у с. Подгорное и с. Бакчар; 3) материалы наблюдений Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа (СибНИИСХиТ) за уровнями болотных вод в период с 1998 по 2009 гг. (в 1998-2006 гг. материалы получены под руководством Л.И. Инишевой и совместно с Томским

государственным университетом (ТГУ), Томским государственным педагогическим университетом (ТГПУ); в 2006-2009 гг. – преимущественно сотрудниками СибНИИСХиТ при непосредственном участии автора; 4) материалы наблюдений Росгидромета за температурой приземных слоев воздуха и атмосферными осадками на метеостанциях у г. Колпашево, сел Бакчар и Подгорное с 1936 по 2007 гг.; 5) результаты дешифрирования космоснимков, материалы рекогносцировочных обследований и топогеодезических работ в 2003, 2007, 2008, 2009 гг. ООО «ИНГЕОТЕХ», СибНИИСХиТ, ОАО «Томскгеомониторинг» и ТПУ; 6) данные ТПУ, СибНИИСХиТ и Росгидромета о химическом составе малых и средних рек, болотных вод; 7) опубликованные данные о химическом составе речных, болотных и подземных вод.

**Личный вклад автора.** Полевые и лабораторные работы выполнены автором совместно с сотрудниками лаборатории торфа и экологии СибНИИСХиТ, кафедры гидрологии ТГУ, кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ, ООО «ИНГЕОТЕХ» и лаборатории агроэкологии ТГПУ в период 2004-2009 гг. Оценка подземного стока, анализ условий его формирования и современного состояния района исследований выполнен самостоятельно.

#### **Защищаемые положения.**

1. Норма подземного стока на рассматриваемой территории южной тайги за статистически однородный период с 1984 по 2007 гг. в целом по бассейну р. Чая составляет 1,20 л/с км<sup>2</sup> или 33 % от суммарного водного стока, что в 1,5 раза больше по сравнению с подземным стоком с незаболоченных водосборов. В сравнении с предыдущим периодом (с 1950-х по 1983 г.) в южно-таежной подзоне Западной Сибири произошло увеличение подземного стока более чем на 20 %.

2. Увеличение подземного стока и внутригодовое перераспределение стока рек в значительной степени связано со смещением границ гидрологических сезонов в сторону более позднего начала зимней межени и более ранних сроков начала снеготаяния. В целом, в ближайшей и среднесрочной перспективе сохраняются благоприятные условия для дальнейшего заболачивания территории.

3. Высокая заболоченность южно-таежной подзоны Западной Сибири определяет устойчивость водосборных территорий в условиях наблюдаемых природно-климатических изменений и возрастающей антропогенной нагрузки.

**Научная новизна.** Впервые выполнен комплексный анализ подземного стока и условий его формирования на заболоченной территории южно-таежной подзоны Западной Сибири на основе изучения динамики элементов месячного водного баланса речных

водосборов. Выявлены особенности формирования подземного стока и подземного химического выноса на заболоченных территориях в зависимости от структуры болот. Изучение пространственной структуры болотных экосистем проводилось с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Впервые количественно охарактеризован механизм изменения водного стока малых болотных рек Западной Сибири и его подземной составляющей под влиянием климатических изменений. Проведена количественная оценка месячного, сезонного и годового водного и гидрохимического стока с водосборов малых рек с высокой степенью заболоченности, изучен урвненный режим болотных вод в пределах различных болотных биогеоценозов.

**Практическая значимость.** Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке системы комплексного использования вод бассейна р. Оби и освоения Бакcharского железорудного месторождения, а также в учебном процессе в Томском политехническом университете. Результаты уже использованы при разработке эколого-мелиоративного районирования Западной Сибири в рамках выполнения НИР в ГНУ Сибирском НИИ сельского хозяйства и торфа в соответствии с тематическим планом Россельхозакадемии (2006-2010 гг.).

**Апробация результатов исследования и публикации.** Основные положения диссертации докладывались на Международной конференции «Измерение, моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды: «ENVIROMIS-2006» (Томск, 2006), X Международном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2006), Втором Международном полевом симпозиуме «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее» (Ханты-Мансийск, 2007), Third International conference on climate and water (Helsinki, Finland 2007), Всероссийской научной конференции «Теоретические и прикладные вопросы современной географии», (Томск, 2009), Международной научной конференции «Динамика геосистем и оптимизация природопользования» (Иркутск, 2010), Всероссийской конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (Барнаул, 2010). Основные положения диссертации опубликованы в 20 работах, в том числе в 4-х статьях в журналах, рекомендованных ВАК. Работа поддержана грантом для молодых ученых на проведение научно-исследовательских работ в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» в 2006 году по договору НИР № 02-2006.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы из 272 источника отечественных и зарубежных авторов, включает 35 рисунков, 49 таблиц. Общий объем диссертации составляет 193 страницы.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.г.н., проф. О.Г. Савичеву. А также автор благодарен Н.Г. Инишеву, д.с-х.н., проф., чл-корр. РАСХН Л.И. Инишевой, к.т.н. С.М. Новикову за помощь в изучении болот и особенностей их гидрологического режима, В.А. Шушариной за консультации и помощь в освоении методик химического анализа природных вод, А.А. Скугареву, к.б.н. В.А. Базанову за помощь в дешифрировании космоснимков и определении площади болот. Автор выражает благодарность директору Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа к.с-х.н. Н.М. Белоусову за поддержку проведения научно-исследовательских работ по изучению экологической роли болот. Автор особо благодарен коллегам, сотрудникам лаборатории торфа и экологии Е.С. Ивановой, Е.С. Воистиновой, И.С. Седневу, А.Ж. Жилину, А.А. Калаевой, А.М. Сюткину за помощь в проведении экспедиционных и лабораторных исследований, сборе материалов и постоянную поддержку.

### **Содержание и основные положения работы**

#### **Глава 1. Изученность проблемы**

Для определения и оценки ресурсов подземных вод в настоящее время разработаны гидролого-гидрогеологический, гидрометрический, гидрохимический и гидродинамический методы [Куделин, 1960, 1972; Бочеввер и др., 1965; Попов, 1968 и др.]. К сожалению, недостаток гидрогеологической информации, сложность выполнения расчетов и ряд других проблем обуславливает необходимость упрощения имеющихся методов расчета и более широкое применение гидрологической информации в рамках гидролого-гидрогеологического метода. Другой проблемой изучения подземных и поверхностных вод района является выявление механизмов формирования их эколого-геохимического состояния, без чего невозможна объективная оценка качества вод и состояния геосистем и заболоченных территорий в целом. В этом направлении, благодаря работам С.Л. Шварцева [1998], Н.М. Рассказова, А.Д. Назарова [1977] и др., достигнуты значительные успехи, однако остаются нерешенными многие вопросы, в том числе эколого-геохимического и геоэкологического районирования территории, динамики химического состава подземных вод. Одним из важных показателей геоэкологического состояния, по мнению С.Д. Муравейского [1960] и других авторов, является геосток с водосборного бассейна, под которым понимается водный, гидрохимический, сток речных наносов. В частности, величина водного стока в значительной степени определяет

направления геохимических и биогеохимических процессов, протекающих в экосистемах [Шварцев, 1998; Перельман, 1973 и др.], а величина гидрохимического стока характеризует механизм и масштабы взаимодействия между компонентами природной среды [Зверев, 1999 и др.]. С учетом этого оценка геоэкологического состояния заболоченных территорий должно проводиться путем оценки ключевых составляющих геостока – водного и гидрохимического стока [Савичев, 2005]. В целом, в настоящее время накоплен большой опыт в изучении болот и заболоченных территорий в мире в целом [Иванов, 1953; 1975; Иванов, Новиков, 1976; Новиков, 1963, 1965, 2003; Бавина, 1966, 1974, 1977; Сирин, 1997, 1998, 2001; Dembek, Oswit, 1996; Eggelsman, 1996; Bragg, 2004 и др.] и в Западной Сибири [Бураков, 1978; Петров, 1973, 2005; Инишев, Инишева, 2001; Болота., 2000; Васюганское болото., 2003; Инишев, 2003; Васильев и др., 2005], в частности. Таким образом, в настоящее время оценка подземного стока в южно-таежной подзоне Западной Сибири, включая бассейн р. Чая, требует уточнения с учетом данных гидрогеологических, геоэкологических и гидрологических обследований. Недостаточно изучены пространственно-временные закономерности изменения подземного стока и водный баланс заболоченных территорий, что и определило структуру исследований в рассматриваемой диссертационной работе.

## **Глава 2. Методика исследований**

В соответствии с поставленной задачей проводились комплексные исследования характеристик водного режима рек, подземных и болотных вод. Методика включала оценку подземного стока и его многолетней изменчивости, причинно-следственный статистический анализ составляющих водного баланса водосборов, исследование химического состава природных вод и оценку подземного химического выноса, изучение пространственных закономерностей подземного стока и выноса химических веществ, определение структуры и площади болотных ландшафтов, районирование и оценку состояния заболоченной территории. Характеристики водного режима были определены на специально оборудованных постах и скважинах в соответствии с нормативными документами Росгидромета и МПР России.

Отбор проб воды на химический анализ проводился в соответствии установленным стандартам. Химический анализ выполнялся в лабораториях торфа и экологии и аналитических исследований СибНИИСХиТ. Анализ гидрологических, гидрогеологических и гидрохимических данных проводилось по методике [Савичев, 2003]. Для общей оценке состояния заболоченных территорий проводился анализ данных дистанционного зондирования Земли и дешифрирование космоснимков [Базанов и др.,



2009; Савичев и др., 2010]. Определение подземного стока проводилось с использованием метода Б.И. Куделина [1960, 1972], способа О.В. Попова [1968], и методики, предложенной О.Г. Савичевым [2004], разработанной на основе метода Б.И. Куделина (таблица 1). Расчленение гидрографов проводилось за весь период наблюдений за водным стоком на рр. Чая, Бакчар, Икса, Парбиг, Андарма, Ключ.

Таблица 1 – Способы расчета подземного стока  
[Куделин, 1960; Попов, 1968; Савичев, 2005]

№	Способ оценки подземного стока
1	Метод Б.И. Куделина
2	$Q_{\text{подз},t} = a_0 + a_1 \times (H_{p,t} - H_{г,t}) + a_2 \times H_{г,t} + a_3 \times Q_{t-1}$
3	$Q_{\text{подз},t} = a_0 + a_1 \times (H_{p,t} - H_{г,t}) + a_2 \times H_{г,t}$
4	$Q_{\text{подз}} = \begin{cases} Q_{\text{ср.мес.}}, n = 12, n < 4 \\ Q_{\text{март}} + \frac{Q_{\text{декабрь}} - Q_{\text{март}}}{12 - 3} \times (n - 3), \end{cases}$
5	$Q_{\text{подз},t} = Q_{\text{мин.ср.мес.}}$
6	Способ О.В. Попова

где  $Q_{\text{подз}}$  – величина подземного стока;  $H_p$  и  $H_g$  – уровни речных и грунтовых вод;  $Q_{\text{ср.мес}}$  – среднемесячный расход воды реки;  $Q_{\text{март}}$  и  $Q_{\text{декабрь}}$  – среднемесячные расходы воды за март и декабрь соответственно;  $Q_{t-1}$  – среднемесячный расход воды в реке за предшествующий период;  $Q_t$  – среднемесячный расход воды в реке;  $n$  – номер расчетного календарного месяца  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – константы.

### Глава 3. Природные и антропогенные условия территории исследований

Климат района исследований континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Согласно гидролого-климатическому районированию Западно-Сибирской равнины [Мезенцев, Карнацевич, 1969], территория характеризуется избыточным увлажнением и достаточной теплообеспеченностью. Климат данной территории в значительной степени определяет процесс заболачивания, формируя водно-тепловой баланс территории. Годовая сумма осадков изменяется от 450 мм до 500 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-1,6^\circ \text{C}$  [Климат России, 2001; Мангазеева, Нехорошев, 2007].

Рельеф преимущественно плосковершинный полого-увалистый на приводораздельных участках, переходящий в плоскую равнину [Олюнин, 1977]. В геологическом отношении территория исследований расположена в пределах Западно-Сибирской эпигерцинской (эпипалеозойской) плиты, в геологическом строении которой выделяют фундамент и рыхлый мезозойско-кайнозойский чехол [Сурков, Жеро, 1981;

Геология СССР, 1964], в гидрогеологическом отношении – в пределах крупнейшего артезианского бассейна платформенного типа Западно-Сибирской равнины. В разрезе бассейна на большей части территории четко выделяются два гидрогеологических этажа. Верхний гидрогеологический этаж объединяет водоносные слои четвертичных образований, отложения неогена и олигоцена. Нижний геологический этаж объединяет водоносные комплексы верхнего турона, средней юры и водоносный комплекс образований складчатого фундамента плиты [Ресурсы пресных..., 1991]. В подземном питании рек района исследований участвуют преимущественно неоген-четвертичные и палеогеновые водоносные комплексы [Савичев, 2010].

Почвенный покров исследуемой территории характеризуется преобладанием дерново-подзолистых и болотных почв [Непряхин, 1977]. Растительный покров исследуемого района представлен в основном березовыми, березово-осиновыми и темнохвойными лесами, приуроченными к лесным долинам и приречным частям долины, и сфагновыми болотами с незначительным распространением луговой растительности [Любимова, 1972]. В настоящее время рассматриваемая территория в хозяйственном отношении освоена весьма слабо, но есть серьезные перспективы в связи с разработкой Бакчарского железорудного месторождения. В целом основные особенности формирования подземного стока рассматриваемой территории связаны с избыточным увлажнением слабой дренированностью и избыточной заболоченностью поверхностных водосборов.

#### **Глава 4. Подземный сток и его многолетняя изменчивость**

##### **4.1. Общая характеристика подземного стока**

В разделе приведены результаты расчетов подземного стока с использованием способов, представленных в таблице 1. Для выбора способа расчета подземного стока проводился совместный анализ изменения уровней грунтовых, речных и болотных вод. Результаты анализа показали, что, во-первых, для р. Чай и ее притоков характерен как подпорный, так и нисходящий режим подземного стока, но последний все же преобладает. Во-вторых, условия формирования подземного стока на сильно заболоченных территориях определяются характером насыщения торфяной залежи болот, а сток осуществляется только после насыщения деятельного горизонта. С учетом этого было использовано 6 способов расчета подземного стока, 3 из которых представляют собой модификацию метода Б.И. Куделина (способы 1, 2, 3 в таблице 1), в том числе традиционная форма согласно [Куделин, 1960], подразумевающая качественный анализ гидрологических и гидрогеологических данных.

По итогам расчетов в качестве эталона приняты результаты оценки подземного стока по способу 1, поскольку этот способ позволяет получить внутригодовое изменение подземного стока, совпадающее с изменением уровней подземных вод (таблица 2). Близкие результаты (в сравнении с эталонным способом) получены по способам 2, 3, 6. Способы 4, 5 позволили получить наименьшие значения подземного стока, которые характеризуют самую устойчивую часть подземного питания рек.

Таблица 2 – Сравнение результатов расчетов подземного стока

способ расчета	Расходы подземного стока, м <sup>3</sup> /с						
	Чая – с. Подгорное	Бакчар-с. Горелый	Бакчар-с. Польянка	Икса-с. Плотниково	Андарма-с. Паньчево	Парбиг – с. Веселый	Ключ – с. Польянка
способ 1	26,7	–	–	–	–	–	–
способ 2	25,5	7,73	1,20	2,03	2,72	14,7	–
способ 3	25,7	8,14	1,20	1,75	2,72	14,8	–
способ 4	24,9	4,26	0,39	0,54	1,57	10,0	0,005
способ 5	20,8	3,35	0,14	0,28	1,20	8,64	0,047
способ 6	-	7,79	1,38	1,99	3,02	14,8	0,047

Выполненные расчеты показали, что среднеголетний подземный сток бассейна р. Чая за однородный период составляет 1,20 л/с км<sup>2</sup> или 33 % от суммарного водного стока водосбора, что в 1,5 раза больше по сравнению с подземным стоком с незаболоченных водосборов.

#### 4.2. Многолетние изменения подземного водного стока

В результате выполненного анализа данных выявлена статистически значимая тенденция увеличения подземного стока р. Чая у с. Подгорное в течение всего года, что согласуется с тенденцией увеличения температуры атмосферного воздуха и годовых атмосферных осадков на метеостанциях в Колпашево и Бакчар за многолетний период. Отмечено статистически значимое увеличение уровней подземных вод в долинах рек Чая и Бакчар. Для основных притоков р. Чая наблюдается не столь однозначная тенденция. Увеличение подземного стока характерно только для рек Парбиг (у с. Веселое) и Икса (у с. Копаное озеро и с. Плотниково) (рисунок 1). Возрастание подземного стока наблюдается или в течение всего года, но наиболее заметно – с января по сентябрь. С учетом этого можно предположить, что наблюдаемые изменения водного режима рассматриваемой территории связаны не просто с постепенным накоплением соответствующих изменений

на локальных водосборах, а более масштабными (региональными) процессами. В изменении подземной составляющей стока р. Чая выделены два условно однородных периода характеризующихся более высоким подземным стоком в 1980-2000 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1950-1970 гг.).

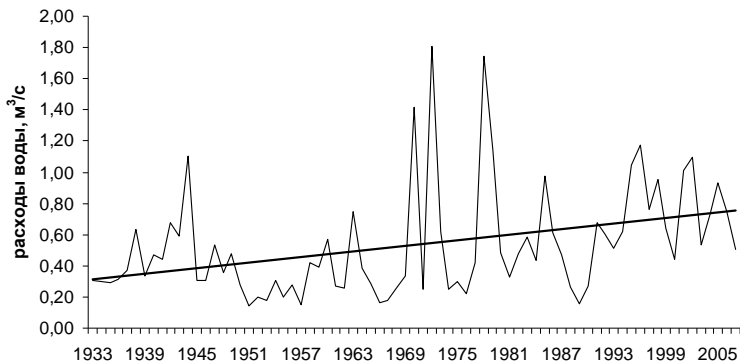


Рисунок 1 – Многолетняя динамика среднегодовых значений подземного стока в бассейне р. Икса (у с. Плотниково)

## Глава 5. Водный баланс и многолетние изменения его элементов

В разделе выполнен расчет элементов водного баланса заболоченных территорий и анализ их многолетних изменений. Показано, что для топяных и центральных участков болот с комплексными ландшафтами характерен незначительный диапазон колебания уровней болотных вод (стандартное отклонение от среднего в пределах 0,03-0,06 м). Для сосново-сфагново-кустарничковых участков болот стандартное отклонение от среднего составляет 0,09-0,16 м. Облесенные сосново-сфагново-кустарничковые биогеоценозы характеризуются более высокой интенсивностью водообмена и более быстрой реакцией на изменение окружающих условий, обусловленное природно-климатическими и антропогенными факторами, в противоположность широкое распространение топяных сфагново-осоковый биогеоценозов с малыми амплитудами колебания способно в значительной степени снизить процессы водообмена заболоченных территорий. Статистический анализ позволил отметить уменьшение общего увлажнения водосбора в апреле-мае, постепенное увеличение испарения в осенний период, рост продолжительности переходного осенне-зимнего периода и соответствующее сокращением влагозапасов в снеговом покрове в ноябре-декабре. Кроме того, выявлено увеличение общего увлажнения водосбора в октябре за счёт дождей, поскольку твёрдые атмосферные

осадки в целом не участвуют в формировании стока в текущем месяце, а накапливаются в снеговом покрове. В целом, в рассматриваемом районе наблюдается перераспределение водного стока, которое характеризуется определенным уменьшением стока в ноябре и декабре, апреле-июне и увеличением в августе-сентябре. В целом, в ближайшей и среднесрочной перспективе сохраняются благоприятные условия для развития процессов заболачивания и торфонакопления в результате отмеченного увеличения подземного стока и уровней грунтовых вод, а также суммы положительных температур, вследствие избыточного увлажнения в тёплый период года и улучшения условий существования среднетребовательной к теплу растительности.

## **Глава 6. Химический состав природных вод и подземный химический вынос**

### **6.1. Химический состав и качество природных вод**

Подземные и речные воды исследуемой территории характеризуются в целом как пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные. Минерализация подземных вод изменяется от 230-790 мг/л в неоген-четвертичных и палеогеновых до 1 г/л в меловых отложениях, причем с глубиной отмечается общее увеличение концентрации сульфатов, натрия, калия, хлоридов при общем уменьшении органических веществ, железа, аммония, нитратов. Подземные воды обогащены железом и марганцем, содержат значительное количество органических веществ по величине окисляемости, характеризуются превышением предельно-допустимых концентраций (ПДК) по содержанию железа, марганца, органических веществ и соединений азота. Антропогенное изменение химического состава и качества вод носит локальный характер. Загрязнение подземных вод происходит на локальных участках, преимущественно в долинах рек и в основном верхних водоносных горизонтов [Шварцев, 1998; Состояние геологической..., 2003, 2004; Лыготин и др., 2004] (таблица 3).

Пространственное изменение химического состава речных вод подчиняется зональным закономерностям и зависит от интенсивности водообмена, степени дренирования подземных водоносных горизонтов. В зимний период наблюдается увеличение минерализации вод за счет возрастающей доли питания рек подземными водами. Формирование состава речных вод в условиях низкой скорости водообмена на заболоченных территориях определяет накопление многих элементов в достаточно высоких концентрациях.

Болотные воды характеризуются как кислые и слабокислые (воды низинных болот – нейтральные) (таблица 3). Воды верховых болот – хлоридные кальциевые (гидрокарбонатные кальциевые), воды низинных и переходных болот по составу

характеризуются как гидрокарбонатные кальциевые. В болотных водах в высоких концентрациях содержатся органические вещества, соединения азота, железо, что оказывает влияние на содержание указанных веществ в речных и грунтовых водах.

Таблица 3 – Обобщенные данные по химическому составу подземных, речных и болотных вод территории, мг/л

Пункт	N	pH	$\Sigma_{и}$	$NO_3^-$	$NH_4^+$	$Fe_{общ}$	XПК	Нефте-продукты	Фенолы
р. Чай – с. Подгорное <sup>1</sup>	22	7,36	395,6	2,10	1,15	0,52	42,9	0,44	0,060
р. Бакчар – с. Горелый <sup>1</sup>	71	7,15	360,1	1,09	1,55	0,22	64,7	0,37	0,010
р. Бакчар – с. Польшанка <sup>2</sup>	77	7,33	226,0	0,46	1,73	0,85	87,7	–	–
р. Икса – с. Плотниково <sup>1</sup>	79	7,03	276,9	0,32	1,88	0,39	80,9	0,38	0,010
Подземная составляющая стока рек <sup>3</sup>	22	6,99	596,0	0,32	1,10	0,17	19,6	–	–
Малые реки <sup>2</sup>	122	6,71	165,9	0,35	2,93	1,63	83,7	0,02	0,010
Подземные воды <sup>4</sup>	288	7,30	476,0	0,36	1,70	3,61	4,03	–	0,003
Болотные воды <sup>2</sup>	332	4,65	79,9	0,46	3,69	2,20	209,0	0,008	0,007
ПДК <sub>хоз-пит</sub>	–	6-9	1000	45	1,50	0,30	15	0,3	0,25

Примечание: в таблице используются данные 1 – [Савичев, 2003], 2 – СибНИИСХиТ, [Инишева, Инишев, 2000; Инишева, 2001; Езупенко, 2003; Инишева и др., 2004; Харанжевская, 2006; Харанжевская, Воистинова, 2009]; 3 – Росгидромета, 4 – [Ермашова, 1998], N – число проб.

## 6.2. Подземный химический вынос

Выполненные исследования показали, что среднесуточный подземный вынос главных ионов составляет 517043 т/год (таблица 4). Минимальный сток ионов наблюдается для рек Бакчар ус. Польшанка и Икса у с. Плотниково. Максимальный подземный сток ионов отмечается для левобережного притока – р. Парбиг. Величина его подземного ионного стока составляет 110 тыс. т/год и близка к доле подземного стока по р. Чай. Пределы колебания подземного стока изменяется от 2,7 до 517 тыс. т/год. Сток биогенных веществ составляет: железо – 679 т/год, нитратов – 2743 т/год, аммония – 1502 т/год. Вынос органических веществ с подземным стоком изменяется в пределах от 0,210 до 21 тыс. т/год. Минимальные значения подземного выноса органических веществ отмечаются для рек Бакчар у с. Польшанка и р. Икса у с. Плотниково, а максимальные значения – для рек Бакчар – с. Горелый, Парбиг – с. Веселое, Чай – с. Подгорное. Вынос (суммарный и подземный) фенолов и нефтепродуктов преобладает по р. Чай у с. Подгорное и составляет 147 т/год и 1077 т/год соответственно, для притоков сток фенолов изменяется от 6,5 до 22,6 т/год, нефтепродуктов – от 86 до 224 т/год.

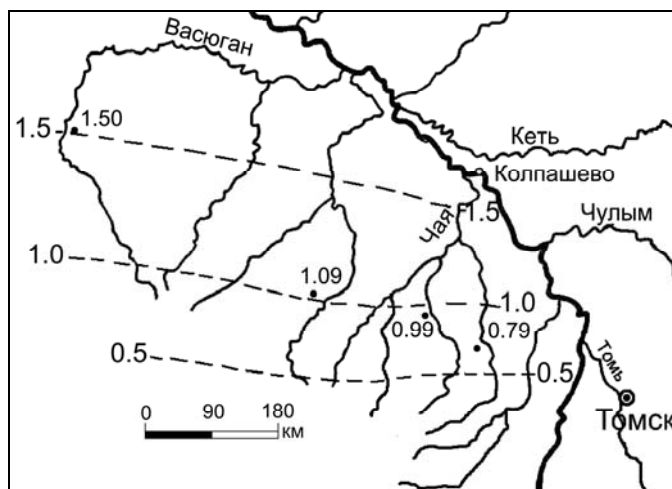
Таблица 4 – Среднеголетние значения ионного стока и стока биогенных и органических веществ

Река-пункт	Сток	Сток веществ, т/год				
		$\Sigma_{и}$	Fe <sub>общ.</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C <sub>орг</sub>
Чая – с. Подгорное	суммарный	968631	1273	2816	5142	39390
	подземный	517043	679	1502	2743	21013
Бакчар – с. Горелый	суммарный	218227	167	937	949	12000
	подземный	48882	38	208	210	2645
Бакчар – с. Польшанка	суммарный	38434	135	243	84,9	2937
	подземный	2665	8,33	13,6	5,94	210
Икса – с. Коп. озеро	суммарный	282494	126	не опр.	524	7569
	подземный	69987	31,2	не опр.	130	1875
Икса – с. Плотниково	суммарный	54282	125	426	104	9077
	подземный	4045	9,28	31,6	7,72	675
Парбиг – с. Веселый	суммарный	336705	282	не опр.	282	14101
	подземный	109729	9,19	не опр.	9,19	460
Парбиг – с. Парбиг	суммарный	122331	194	не опр.	12,7	6732
	подземный	39586	63,2	не опр.	4,15	2177
Андарма – с. Панычево	суммарный	82530	56,2	не опр.	68,5	4413
	подземный	17167	11,4	не опр.	14,1	909
Нюрса – с. Центр. Нюрса	суммарный	70150	208	не опр.	65,7	3301
	подземный	15122	44,8	не опр.	14,1	712

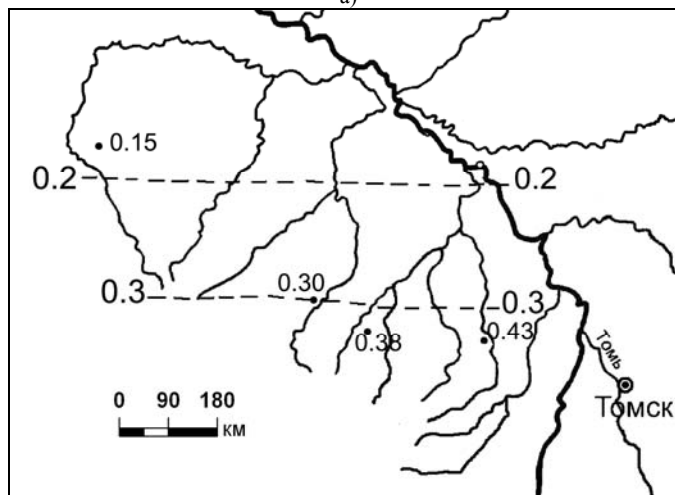
## Глава 7. Изменения подземного водного и гидрохимического стока по территории

Главной закономерностью пространственного изменения подземного и суммарного стока в бассейне р. Чая является его увеличение с юго-востока на северо-запад (рисунок 2а). Минимальные значения суммарного и подземного стока характерны для рек Бакчар и Икса, в бассейнах, которых обширные площади занимают комплексные грядово-озерково-мочажинные и топяные биогеоценозы. В западной части бассейна р. Чая, где преобладающим болотным биогеоценозом верхового типа является сосново-сфагново-кустарничковый наблюдается увеличение интенсивности водообмена и модуля суммарного и подземного стока до 3,99 л/с км<sup>2</sup> и 1,29 л/с км<sup>2</sup>. В пространственном распределении модулей подземного выноса ионов (рисунок 2б) зафиксировано их снижение с севера на юг с 0,300 до 0,100 г/с км<sup>2</sup>. Максимальные значения подземного химического выноса отмечаются на западе и северо-востоке территории исследований (более 0,400 г/с км<sup>2</sup>) в бассейнах р. Парбиг и Икса. В случае органических веществ наблюдается снижение их выноса поверхностной составляющей стока с юга на север бассейна и увеличение выноса с подземными водами. В пространственном распределении подземного выноса Fe<sub>общ.</sub> наблюдается увеличение стока с юго-востока на запад и северо-запад бассейна реки.

Максимальные значения подземного выноса железа наблюдаются в бассейне р. Парбиг (0,733 мг/с км<sup>2</sup>).



а)



б)

Рисунок 2 – Схемы изолиний модулей среднегогодевного подземного стока в бассейне р. Чая: а) водного стока, л/с км<sup>2</sup>; б) химического выноса, г/с км<sup>2</sup>.

## Глава 8. Районирование территории по интенсивности водообмена и устойчивости экосистем

Большую часть бассейна р. Чая занимают верховые болота, которые в основном представлены сосново-сфагново-кустарничковыми и сфагново-сосново-кустарничковыми



биогеоценозами. Средняя заболоченность бассейна реки составляет 52 %. Переходные и редко низинные занимают окраинные участки крупных водораздельных болотных массивов. В процентном соотношении доля переходных болот составляет от 27 до 43 % от общей площади болот в водосборах рек территории. Низинные болота занимают преимущественно подчиненное положение (в процентном соотношении до 17 % от общей площади болот). Располагаются они в основном на речных террасах, иногда в поймах. В пределах исследуемой территории выделяются в основном 2 вида низинных болотных биогеоценозов: березово-осоково-кустарничковые и елово-разнотравные. В распределении биогеоценозов верхового типа отмечается следующая закономерность: в западной части отмечается широкое распространение с сфагново-сосново-кустарничковых биогеоценозов (до 47 %). В восточной части бассейна отмечается увеличение доли топяных участков и широкое распространение комплексных грядово-озерково-мочажинных ландшафтов.

Преобладание сосново-сфагново-кустарничковых биогеоценозов обуславливает более высокие концентрации минеральных и органических веществ, тогда как широкое распространение топяных и грядово-озерково-мочажинных ландшафтов предопределяет их более низкие концентрации. Амплитуда колебания уровней болотных вод в сосново-сфагново-кустарничковых биогеоценозах составляет более 40 см, тогда в топяных ландшафтах не превышает 21 см, что заметно снижает интенсивность водообмена, но увеличивает устойчивость экосистем к антропогенной нагрузке. С учетом полученных данных разработана и апробирована методика оценки геоэкологического состояния заболоченных территорий, в результате чего в пределах бассейна р. Ча́я выделено 3 района. Характеристика современных условий районов приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Современное состояние бассейнов рек

Река-пункт	Состояние бассейна, сумма баллов	Характеристика условий
Бакчар – с. Полянника	9	Низкая интенсивность водообмена, высокая устойчивость экосистем
Икса – с. Плотниково	9	
Ча́я – с. Подгорное	15	Средняя интенсивность водообмена и устойчивость экосистем к антропогенной нагрузке
Бакчар – с. Горелый	15	
Икса – с. Копаное озеро	16	Относительно высокая интенсивность водообмена территории при, однако, высокой заболоченности водосборов, средняя и низкая устойчивость экосистем
Андарма – с. Панычево	17	
Парбиг – с. Веселое	17	
Парбиг – с. Парбиг	19	

## Заключение

- Подземный сток бассейна р. Чая изменяется от 0,68 л/с км<sup>2</sup> в верховьях до 1,07 л/с км<sup>2</sup> в устьевой части. Коэффициенты вариации годового подземного стока изменяются от 0,27 до 1,07. Внутригодовое распределение подземного стока в целом аналогично общему речному, но, в тоже время, распределение подземного стока внутри года более равномерно, включает два периода с различной интенсивностью изменения слоя подземного стока. Главной особенностью рассматриваемой территории является ее сильная заболоченность, что в значительной степени определяет условия формирования подземного стока. Болотные массивы аккумулируют влагу и перераспределяют в течение года суммарный и подземный водный сток. В целом, влияние болот на подземный сток является неоднозначным.
- Статистический анализ позволил отметить существенное увеличение в последние два-четыре десятилетия дисперсии и нормы среднегодовых уровней грунтовых вод, уровней и расходов воды (включая подземную составляющую речного стока) р. Чая и ее притоков – рр. Икса, Бакчар, Парбиг и Ключ. При этом большей частью нарушение однородности рядов связано преимущественно с увеличением дисперсии. В изменении подземной составляющей стока р. Чая выделены два условно однородных периода характеризующихся более высоким подземным стоком в 1980-2000 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1950-1970 гг.). Нарушения однородности гидрологических рядов, полученных непосредственно на р. Чая, несколько опережают по времени нарушения однородности рядов по ее притокам. Увеличение подземного стока и внутригодовое перераспределение стока рек связано со смещением границ гидрологических сезонов в сторону более позднего начала зимней межени и более ранних сроков начала снеготаяния.
- Отмечается перераспределение водного стока в течение года с определенным увеличением слоя суммарного стока рек в январе-марте и в осенний период и снижением стока в апреле, июне, июле, ноябре и декабре. Статистически значимые изменения слоя стока наблюдаются в январе-марте, в остальные периоды наблюдается нарушение однородности рядов.
- Основными факторами современного состояния бассейна р. Чая, определяющими устойчивость территории и оказывающими влияние на подземный сток, являются площадь болотных массивов и распространение топяных и грядово-мочажинно-озерковых биогеоценозов. По результатам оценки современного состояния территория бассейна р. Чая характеризуется средней и высокой устойчивостью экосистем к антропогенной нагрузке.

## Список опубликованных работ

### Издания, рекомендованные ВАК

1. Савичев О.Г., Харанжевская Ю.А. Многолетние изменения гидроклиматических условий в бассейне реки Чая (Западная Сибирь) // Известия ТПУ, 2008. – Т. 313, № 1. – С. 79-82.
2. Базанов В.А., Савичев О.Г., Скугарев А.А., Харанжевская Ю.А. Применение метода фитоиндикации в гидрологических исследованиях заболоченных территорий Западной Сибири (на примере р. Ключ, Томская область) // Вестник ТГУ. Биология, 2009. – № 4 (8). – С. 84-96.
3. Савичев О.Г., Базанов В.А., Скугарев А.А., Харанжевская Ю.А., Шмаков А.В. Водный и гидрохимический режим восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь, Россия) // Известия ТПУ, 2010. – Т. 316, № 1. – С. 119-124.
4. Савичев О.Г., Болон И., Харанжевская Ю.А. Многолетние изменения элементов водного баланса бассейнов малых рек на юге Западной Сибири // Известия ТПУ, 2010. – Т. 316, № 1. – С. 124-128.

### Материалы конференций и симпозиумов

1. Езупенок Е.Э., Харанжевская Ю.А., Инишев Н.Г. Водорастворимый углерод в болотных и речных водах // Материалы третьей научной школы “Болота и биосфера”. – Томск: изд-во ЦНТИ, 2004. – С. 192-195.
2. Харанжевская Ю.А., Инишев Н.Г. Математическая модель формирования стока весеннего половодья с малого заболоченного водосбора р. Ключ // Материалы четвертой научной школы “Болота и биосфера”. – Томск: изд-во ЦНТИ, 2005. – С. 248-255.
3. Харанжевская Ю.А. Условия формирования химического состава болотных вод в пределах Бакчарского болотного округа // Материалы X Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2006. – С. 305-306.
4. Харанжевская Ю.А. Пространственное изменение элементов водного баланса рек Васюганского болота // Материалы X конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование». Секция естественные науки, том 1, часть 2. – Томск, 2006. – С. 271-278.
5. Харанжевская Ю.А. О формировании стока с болот // Измерения, моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды / под общей редакцией проф. Е.П. Гордова. – Томск: изд-во Томского ЦНТИ, 2006. – С. 91-94.
6. Харанжевская Ю.А. Водно-физические свойства и гидротермический режим олиготрофного болота // Материалы пятой научной школы “Болота и биосфера”. – Томск: изд-во ЦНТИ, 2006. – С. 223-230.
7. Иванова Е.С., Харанжевская Ю.А. Анализ содержания органических веществ в болотных водах верхового болота // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Второго Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа-2 сентября 2007 г.) / под ред. акад. С.Э. Вомперского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 98-99.
8. Kharanzhevskaya J.A., Inishev N.G. The peculiarities of water regime of oligotrophic bog and its influence on runoff from bogged basin of the Kluych River // Proceedings of the Third International Conference on Climate and Water. – Helsinki, 2007. – P. 585.
9. Харанжевская Ю.А. Динамика химического состава вод верхового болота // Материалы шестой Всероссийской научной школы «Болота и биосфера» (10-14 сентября 2007 г.). – Томск: Изд-во ФГУ «Томский ЦНТИ», 2007. – С. 294-299.
10. Иванова Е.С., Харанжевская Ю.А. Органическое вещество в речных водах // Труды IV Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». – Санкт-Петербург, 2007. – С. 22-25.

11. **Харанжевская Ю.А.**, Седнев И.С., Воистинова Е.С., Иванова Е.С. Эколого-мелиоративное районирование заболоченной территории южно-таежной подзоны Западной Сибири. Рекомендации по рациональному использованию болот. – Томск: Изд-во «Ветер», 2008. – 47 с.
12. **Харанжевская Ю.А.**, Воистинова Е.С. Мониторинг содержания химических элементов в болотных водах Васюганского болота в пределах Томской области // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы российской конференции / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2009. – С. 271-273.
13. **Харанжевская Ю.А.** Многолетние изменения внутригодового стока в бассейне р. Чая // Теоретические и прикладные вопросы современной географии. Материалы Всероссийской научной конференции. – Томск: Томский госуниверситет, 2009. – С. 278-279.
14. Воистинова Е.С., **Харанжевская Ю.А.** Гидрохимическая характеристика вод евтрофного болота Самара // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во «Ветер», 2009. – С. 138-140.
15. **Харанжевская Ю.А.** Водный режим и геоэкологическое состояние заболоченных территорий южно-таежной подзоны Западной Сибири (на примере бассейна р. Чая) // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов. Материалы Третьей всероссийской конференции с международным участием (Барнаул, 24-28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С. 455-459.
16. **Харанжевская Ю.А.**, Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А. Мониторинг и моделирование водного режима верхового болота // Контроль окружающей среды и климата «КОСК-2010». Материалы VII Всероссийского симпозиума. – Томск: Аграф-Пресс, 2010. – С. 294-295.