

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный университет
Институт наук о Земле
Кафедра гидрологии суши

Каштаненко Виктория Игоревна

Сток растворенных веществ рек различных регионов России с сильно заболоченными
водосборами

Научно-исследовательская работа

Научный руководитель:

к.г.н., доц. Т. М. Потапова

_____ 2018
«__»_____

Заведующий кафедрой:

к.г.н., доц. Г. В. Пряхина

_____ 2018
«__»_____

Санкт-Петербург

2018

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Гидрохимическая и гидрологическая изученность болот	5
Глава 2. Объекты и материалы и методы исследования	8
2.1. Объекты исследования	8
2.2. Материалы и методы исследования	9
Глава 3. Гидрохимический сток рек внешних водоприемников верховых болот	11
3.1. Гидрохимический сток рек-водоприемников в фоновых условиях на примере Иласского болотного массива	11
3.1.1. Физико-географическое описание	11
3.1.2. Гидрохимическая характеристика болотных вод	14
3.1.3. Гидрохимические особенности болотных и речных вод	16
3.1.4. Оценка среднееголетних значений стока растворенных веществ р. Черной ..	19
3.1.5. Оценка среднееголетних значений сезонного стока растворенных веществ..	20
3.2. Гидрохимический сток рек внешних водоприемников Васюганского болотного массива.....	23
3.2.1. Физико-географическое описание	23
3.2.2. Гидрохимическая характеристика различных микроландшафтов Васюганского болотного массива.....	27
3.2.3. Гидрохимические особенности рек-водоприемников Васюганской болотной системы	33
3.2.4. Оценка среднееголетних значений стока растворенных веществ рек Васюгана и Тром-Югана	34
3.2.5. Оценка среднееголетних значений сезонного стока растворенных веществ..	37
3.3. Гидрохимический сток рек-водоприемников в нарушенных условиях на примере Ларьянского болотного массива.....	42
3.3.1. Физико-географическое описание	42
3.3.2. Гидрохимическая характеристика болотных и речных вод Ларьянского массива	47
3.3.3. Гидрохимические особенности болотных и речных вод	52
3.3.4. Оценка среднееголетних значений стока растворенных веществ р. Воложбы	55
3.3.5. Оценка среднееголетних значений сезонного стока растворенных веществ..	56
Глава 4. Гидрохимический сток рек с территории низинных болот на примере Тарманского болота.....	59
4.1. Физико-географическое описание	59

4.2. Гидрохимическая характеристика болотных и речных вод Тарманского болотного массива.....	63
4.3. Гидрохимические особенности болотных и речных вод.....	65
4.4. Оценка среднегодовых значений стока растворенных веществ р. Ахманка	69
4.5. Оценка среднегодовых значений сезонного стока растворенных веществ	69
Заключение.....	73
Литература	77
Приложение.....	80

Введение

Интенсивное хозяйственное и нефтегазовое освоение заболоченных территорий России приводит к изменению естественного фона рек, принимающих болотный сток (далее рек-водоприемников). Специфические климатические и ландшафтные особенности, определяющиеся высокой заболоченностью, ведут к возникновению особых условий формирования гидрохимического режима рек различных регионов Российской Федерации.

Наиболее надежным показателем изменения гидрохимического состояния рек под влиянием болот является сток химических веществ, позволяющий оценить степень загрязнения рек и их водосборов. В связи с этим цель моей работы заключается в количественной оценке изменения качества вод рек, принимающих болотный сток с разнотипных болот в связи с усиливающейся антропогенной нагрузкой на их водосборные территории.

Анализ современной литературы показал, что вопросы влияния болот на гидрохимический сток недостаточно освещены, как из-за недостатка систематических наблюдений за гидролого-гидрохимическими характеристиками поверхностных вод болот, так и из-за отсутствия методик их химического анализа. В настоящее время наиболее изученными в гидрохимическом плане остаются только верховые болота Северо-Запада. Химизм низинных и переходных болот слабо изучен, как и их стоковые характеристики, и требует дополнительных исследований. Отсутствуют и нормативы предельно допустимых сбросов промышленных вод на заболоченные территории, что и определяет актуальность моей работы.

Основными задачами дипломной работы являлись:

- Сбор и обобщение гидрологических и гидрохимических данных разнотипных болот на примере Иласского, Ларьянского, Васюганского и Тарманского болотных массивов за многолетний период. Составление информационной базы данных;
- Оценка фоновых гидрохимических показателей болотных и речных вод;
- Установление связи между химическим составом болотных вод и вод рек-водоприемников;
- Расчет среднегодового стока химических веществ водоприемников;
- Оценка пространственного распределения стока растворенных веществ рек-водоприемников с территории разнотипных болот;
- Построение карт болотных массивов в программе ArcGIS.

Глава 1. Гидрохимическая и гидрологическая изученность болот

Фундаментальные основы изучения химического состава поверхностных вод различных генетических типов болот представлены в работах П. П. Воронкова (Воронков, 1966), И. Л. Калюжного, Л. Я. Левандовской (Калюжный, Левандовская, 1970), Т. М. Потаповой (Потапова, 1982). Анализ современной литературы свидетельствует о малочисленности работ, основанных на систематических наблюдениях за химическим составом болотных вод. В течение длительного периода времени систематические исследования, позволяющие оценить гидрохимический режим болот, проводились лишь на специализированных болотных Росгидромета – Брусовица, Пулозеро, Тюменская и Ларьянская болотные станции.

На основе обобщения среднесуточных данных было установлено, что основное значение в формировании химического состава вод олиготрофных болот имеют атмосферные осадки, минеральные соединения, образовавшиеся при разложении растительных остатков, а также вещества, поступающие на периферийные зоны массива вследствие диффузии из грунтовых вод. Важнейшими факторами процесса формирования химического состава болотных вод являются: степень проточности и обводненность болотного микроландшафта, минерализация и количество выпадающих атмосферных осадков в рассматриваемый период года, поглощающая способность растительного покрова, капиллярное движение влаги, степень разложения и зольность торфяного субстрата в поверхностном слое торфяной залежи (Калюжный, 1970; Потапова, 1991).

В работах Калюжного и Потаповой (Калюжный, 1999; Потапова, Новиков, 2006) показано, что влияние болот на качество вод внешних водоприемников сильно изменяется в зависимости от гидрометеорологических факторов, что вызывает необходимость их количественной оценки, основанной на расчетах болотного стока химических веществ.

Первые работы по детальному исследованию органического вещества были выполнены П. П. Воронковым (Воронков, 1966), И. Л. Калюжным и Л. Я. Левандовской (Калюжный, Левандовская, 1970). Такие исследования и обобщение гидрохимических данных, показали, что, несмотря на различное территориальное положение рассматриваемых олиготрофных болотных массивов, гидрохимический режим и химический состав болотных вод во многом сходен и зависит от факторов их гидрометеорологического режима. Общее содержание минеральных компонентов в водах этих массивов может изменяться от 8 – 16 до 50 – 70 мг/л. Воды верховых болотных массивов в течение почти всего года имеют ярко выраженный сульфатный характер с преобладанием кальция в составе катионов. Особенностью вод всех исследованных

болотных массивов является высокое содержание в них растворенного органического вещества (Калюжный, 1999).

В связи с этим в дальнейшем, в работах Потаповой Т. М. и Новикова С. М. (Потапова, Новиков, 2006) были установлены среднемноголетние фоновые характеристики химического состава болотных вод, которые рассчитывались по данным наблюдений на станциях Северного Края и Северо-Запада России – в Архангельской (Иласское болото), Мурманской (Пулозерское болото) и Ленинградской (Ширинский и Ларьянский болотные массивы) областях, за период наблюдений 1960 – 1987 гг. В результате этих исследований было установлено, что формирование химического состава болотных вод носит весьма сложный характер и определяется взаимодействием рядом процессов.

Проблема изучения болот Западной Сибири как одного из основных компонентов природы этой территории уже давно привлекала исследователей. Большой вклад в исследование внесли работы Н. И. Кузнецова (Кузнецов, 1915), М. К. Барышникова (Барышников, 1929), А. Я. Бронзова (Бронзов, 1930, 1936), Н. Я. Каца (Кац, 1929, 1946), М. И. Нейштадта (Нейштадт, 1936, 1971б, 1972), С. Н. Тюремнова (Тюремнов, 1956) и другие.

Обобщенные данные экспедиционных исследований Томского Политехнического Университета за период 1993 – 2013 гг. позволили установить отличительные черты химического состава болотных вод в таежной зоне Западной Сибири. Объектами исследований послужили более тридцати болот (преимущественно вне зон активного антропогенного воздействия), расположенных в основном на территории Томской области, частично – в Ханты-Мансийском автономном округе и Новосибирской области. Также были изучены участки одного из самых больших в мире болот – Васюганского. Показано, что наблюдается общее уменьшение содержаний растворенных солей с юга – юго-запада на север – северо-восток по мере увеличения модулей водного стока и доли верховых болот в заболоченности водосборов. На этом фоне отмечается увеличение концентрации большинства изученных веществ: 1) от водоразделов к долинам; 2) на участках с преобладающей лесо-топяной торфяной залежью по сравнению с лесной и топяной (Савичев, 2015).

Результаты изменчивости антропогенной нагрузки поверхностных вод приводятся в работах Брызгало В. А. и В. В. Иванова (Брызгало, Иванов, 2003) на примере водосборов рек Сибири и Севера на устьевые экосистемы по приоритетным загрязняющим веществам. Проведена оценка уровня антропогенной нагрузки на исследуемые устьевые экосистемы по критическим загрязняющим веществам на основе анализа многолетних

гидрологических и гидрохимических данных Государственной сети наблюдений и контроля за загрязнением поверхностных вод суши на замыкающих створах.

В гидрохимической литературе в наименьшей степени изучены вопрос стока рек с различных генетических типов. Первой публикацией этого направления является статья Калюжного И. Л. (Калюжный, 1999) на примере болотного массива Ламмин-Суо. Автором выявлена следующая закономерность: в годовом ходе выноса растворенного органического вещества с олиготрофного массива наблюдается два максимума, весенний и осенний, и два минимума – зимний и летний. Осенний максимум может превышать весенний, а зимний минимум вследствие прекращения стока зимой является абсолютным.

В дальнейшем эти исследования были продолжены в работах Потаповой Т. А. и Новикова (Потапова, Новиков, 2006), которых был рассчитан сток химических веществ с мелиорированных и с немелиорированных олиготрофных болот Северо-Запада и Западной Сибири (Потапова, Иванов, 1982).

Влияние болот на качество вод внешних водоприемников, сильно изменяющихся в зависимости от гидрометеорологических факторов, показано в работах Калюжного и Потаповой (Калюжный, 1999; Потапова, Новиков, 2006).

В работе Потаповой Т. М. (Потапова и др., 2013), в связи с возросшим в последнее время интересом к изучению морских и устьевых процессов в Российской Арктике, впервые были установлены характеристики геохимического стока для рек бассейна Северного Ледовитого океана, позволяющие определить антропогенную нагрузку на исследуемые реки, изложенные в работах (Заславская, Ефимова, 2007). Установлено, что за рассмотренный многолетний период показатель ионного стока р. Лена уменьшился почти в 3 раза. Тенденция снижения показателей стока наблюдается и для всех главных ионов, за исключением магния. При сравнении модулей стока рек Надым и Пур за два рассматриваемых периода отмечено увеличение ионного стока в антропогенно-измененный период по сравнению с периодом условного фона, что справедливо и для стока всех главных ионов, за исключением хлора для стока р. Пур. Для азота нитратного и фосфора в маловодные годы наблюдается увеличение стока, что говорит о превалирующей роли концентрационного фактора (Потапова и др., 2013).

Сток растворенных химических веществ рек, принимающих болотные воды на территории нефтегазоносных районов рассматривался в работе Потаповой Т. М. (Потапова, 2013) на примере Муравлинского месторождения, согласно результатам которой доля инфильтрационного стока нефтеуглеводородов значительно превышает русловую составляющую, что свидетельствует о высокой степени аккумуляции нефтеуглеводородов в торфяной залежи. Это позволяет заключить, что в настоящее время

значительная часть нефтепродуктов депонирована в торфяных отложениях по всей площади болот и является источником постоянного загрязнения вод внешних водоприемников болотного стока. Ввиду низких скоростей процессов биodeградации нефти в условиях многолетней мерзлоты даже при прекращении промышленной разработки месторождений в течение многих десятилетий будет продолжаться вынос нефти и загрязнение поверхностных вод всего региона.

Вопросы формирования химического состава и стока рек-водоприемников низинных болот в современной литературе остается не до конца освещенным. В монографиях Калюжного и Левандовской (Калюжный, Левандовская, 1977) представлены основные гидрохимические характеристики поверхностных вод эвтрофных болот на примере Тарманского болотного массива. Гидрохимические особенности поверхностных вод низинных болот также рассмотрены в публикациях Савичева (Савичев, 2014; Savichev, 2015) и Шварцева (Shvartsev, 2008). В работе Савичева (Савичев, 2013) впервые был исследован химический состав естественных и загрязненных участков, а также критерии загрязнения поверхностных вод, освоенных под нефтедобычу, низинных болот. Оценка стока рек, принимающих воды эвтрофных болот представлена в монографии Черняевой А. М. (Черняева, 1989).

Глава 2. Объекты и материалы и методы исследования

2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования были выбраны болота различных генетических типов, расположенные в разных частях России. К ним относятся Иласский болотный массив, расположенный в Архангельской области в бассейне р. Северная Двина, и приуроченный к зоне олиготрофных болот. Помимо этого, рассматривались болота Западной Сибири на примере Васюганского болотного массива, являющегося преимущественно верховым с частичной долей эвтрофных микроландшафтов. Классическим примером верхового мелиорированного болота является Ларьянский болотный массив, расположенный в Тихвинском районе Ленинградской области. В качестве низинных болот было выбрано Тарманское болото, расположенное на юге Западной Сибири.

Важным условием выбора данных объектов исследования было наличие репрезентативных многолетних данных гидрологических и гидрохимических наблюдений за поверхностными водами болотного массива и рек, принимающих болотный сток. Второй важной причиной являлась высокая заболоченность водосборов рек-

водоприемников (от 40 до 63%), которая может свидетельствовать о значительном болотном влиянии.

Таким образом, оценка гидрохимического фона и стока растворенных веществ проводилась для малых и крупных водосборов рек, вытекающих из разнотипных болот, на примере р. Черная (Иласское олиготрофное болото), р. Васюган и Тром-Юган (Васюганское верховое и частично эвтрофное болото), р. Воложба, Воложбинского гидроствора, ручья, Каменок (Ларьянское верховое мелиорированное болото) и р. Ахманка (Тарманское эвтрофное болото).

2.2. Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовались данные мониторинговых гидрохимических наблюдений Северо-Западного (Материалы наблюдений, 1959 – 2011; Гидрологический ежегодник, 2014), Западно-Сибирского (Гидрологический ежегодник, 1964, 1986 – 1992) и Омского УГМС (Материалы наблюдений, 1961 – 1988) за многолетний период (1960 – 2010 гг.), а также результаты полевых исследований и лабораторных анализов проб воды, выполненных Томским Политехническим Университетом за период 1993 – 2015 гг.

Построение типологических карт-схем болотных массивов проводилось на основе Материалов наблюдений на болотных станциях с помощью программы ArcGIS 10.2.

Анализ и обобщение данных гидрологических и гидрохимических наблюдений осуществлялась по программе Excel в соответствии с нормативами, общепринятыми на сети Гидрометслужбы и в соответствии с РД (Методические указания, 2002).

Оценка фоновых содержаний болотных и речных вод проведена в соответствии с рекомендованными на сети Росгидромета Методическими указаниями на основе статистического анализа данных в программе Excel. Диапазон фона рассчитывался по формуле (Методические указания, 2002):

$$C_{\phi} = C_{\text{ср}} \pm \frac{\sigma \cdot \tau}{\sqrt{n}}$$

где C_{ϕ} – диапазон фона, $C_{\text{ср}}$ – среднемноголетние значения компонента, σ – среднеквадратичное отклонение, τ – коэффициент распределения Стьюдента, n – число членов выборки.

Среднемноголетние значения компонентов оценивались по формуле (Шелутко, 2007):

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

где N – число членов, x_i – переменная. Среднее квадратическое отклонение устанавливалось по формуле в программе Excel – СТАНДАРТ.ОТКЛ.В. Среди других статистических характеристик рассчитывались минимальные и максимальные значения компонентов, а также коэффициент вариации – C_v (Шелутко, 2007):

$$C_v = \frac{\sigma_x}{C_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - C_{cp})^2 \cdot C_{cp}}{N}}$$

где σ_x – среднее квадратическое отклонение, N – число членов выборки, x_i – переменная.

Впервые концепция расчета стока растворенных веществ была заложена в работе Алекина (Алекин и др., 1973). В дальнейшем данная методика была положена в основу расчета стока органических веществ, с учетом коэффициентов пересчета, силами исследователей Гидрохимического Института (Мальцева, 1987). В настоящее время в основу расчета гидрохимического стока положены методики, принятые в Роскомгидромете. Расчет годового стока растворенных веществ проводился по общепринятой формуле (Методические указания, 2002):

$$P = Q \cdot K \cdot \frac{\tau}{1000000},$$

где Q – расход воды, м³/с K – концентрация химического вещества, мг/л (мкг/л), τ – число секунд в году. Модуль стока вычислялся по формуле (Методические указания, 2002):

$$m = \frac{P}{F},$$

где P – годовой сток растворенных веществ (тонн, кг или г), F – площадь водосбора, км².

В основе расчета ионного стока лежат среднесезонные данные общей минерализации. Сток органических веществ был получен на основе пересчета величины бихроматной окисляемости с учетом коэффициентом пересчета ($C_{org} = 0,75 \cdot BO$), а также по значениям перманганатной окисляемости. Модуль стока минерального азота был получен как сумма стока нитратного, нитритного и аммонийного азота. Сток растворенного фосфора был рассчитан по значениям фосфатов; сток железа – по значениям общего железа; сток кремния – по среднесезонным значениям кремния (Методические указания, 2002).

Оценка пространственного распределения стока растворенных веществ проводилась на основе расчета средних за сезон концентраций химических веществ и среднесезонных сезонных расходов воды (Методические указания, 2002).

Глава 3. Гидрохимический сток рек внешних водоприемников верховых болот
3.1. Гидрохимический сток рек-водоприемников в фоновых условиях на примере
Иласского болотного массива
3.1.1. Физико-географическое описание

Одним из главных объектов исследования является Иласский болотный массив, характерный для зоны олиготрофных болот, расположенный в Приморском районе Архангельской области на водоразделе четырех рек: Брусовица, Шухта, Бабья и Черная, входящих в бассейн р. Северная Двина. Здесь же находится болотная станция «Брусовица», на которой проводятся многолетние (с 1940-х гг.) наблюдения за гидрологическими и гидрохимическими характеристиками болотных и речных вод (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Иласский болотный массив, являющийся типичным представителем верховых (олиготрофных болот) общей площадью 89 км², расположен на водоразделе трех рек, входящих в бассейн р. Северной Двины. Рельеф окружающей местности равнинный, к северу от болота местами всхолмленный, северные берега изрезаны оврагами. Наиболее распространенными типами микроландшафтов на болоте являются грядово-озерковый, грядово-мочажинный, сфагново-пушицево-кустарничковый с единичными соснами высотой до 3 м и сфагново-кустарничково-пушицевый с редкой сосной (рис. 1). Наибольшее обводнение болота наблюдается в центральных частях, где располагаются грядово-озерковые комплексы, занимающие до 50% площади микроландшафта (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Речная сеть рассматриваемой территории характеризуется большой густотой. Этому благоприятствуют значительное количество осадков, относительно малые потери на испарение и высокий поверхностный сток. Тем не менее речная сеть, вследствие малых уклонов, не в состоянии быстро отводить избыток поверхностных вод, с чем и связана значительная заболоченность района (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

Типологическая карта-схема Иласского болота



Рис. 1. Типологическая схема Иласского болота и размещение установок на болоте

Гидрографическая сеть Иласского болота представлена многочисленными озерами, озерами, реками и ручьями, являющимися водоприемниками болотной системы. Коэффициент стока характеризуются высокими значениями; модули стока достигают максимальных значений – 10 л/сек км². В центральной части болота находится оз. Иласское, берега которого сложены торфом, постоянно подмываются, увеличивая площадь зеркала озера. Северную границу болота пересекают ручьи, берущие начало в озерах Щучье, Трясинное, Плоское и река Илас, принимающая в себя сток ручьев. На юг с болота течет река Брусовица, начинающаяся в топях на южной окрайке болота; с западной части системы берет начало р. Черная; в восточной части системы, так же в топяном микроландшафте – река Бабья (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Гидрографическая характеристика и ландшафтные особенности заболоченных водосборов рек-водоприемников приведены в табл. 1.

Таблица 1. Гидрографическая характеристика водотоков Иласского болотного массива

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Заболоченность, %	Лесистость, %	Озерность, %	Среднегодовой расход воды л/с
р. Брусовица - 29 км от устья	145	40	57	1	1180
р. Бабья - 12 км от устья	4,2	64	26	9	37
р. Черная - 7,6 км от устья	8,9	63	24	2	68

Для оценки фоновых показателей и стока химических веществ была выбрана р. Черная вследствие наличия длительного ряда наблюдений за гидрохимическими и гидрологическими характеристиками, а также высокой степени заболоченности водосбора – 63 %.

Река Черная отличается плавным продольным профилем, малыми падениями. Водоразделы между речными бассейнами орографически выражены слабо, что связано с равнинным характером рельефа и значительной заболоченностью. Основное питание река получает за счет таяния накопленных за зиму запасов снега (более 50%). Остальное питание осуществляется за счет летних и осенних дождей, а также за счет грунтовых вод (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

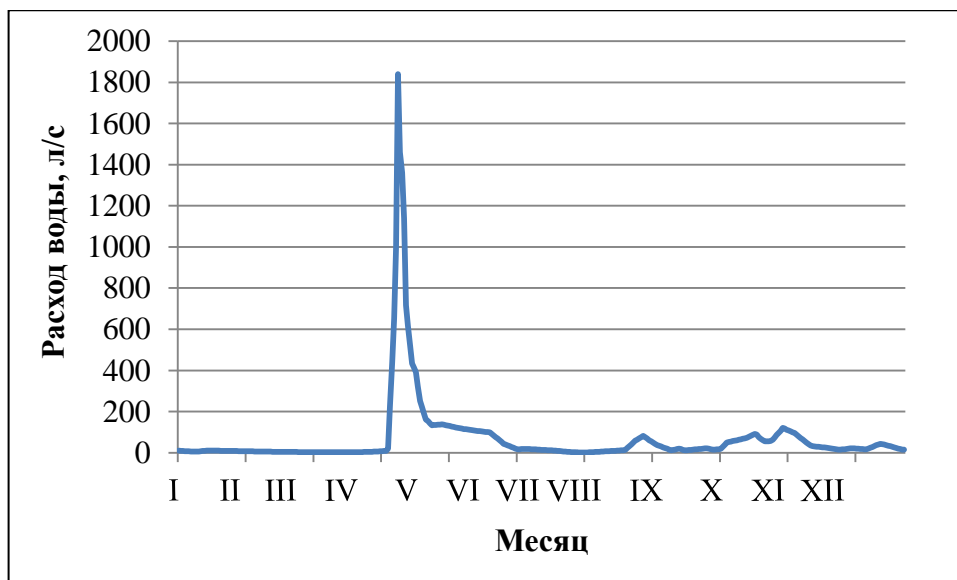


Рис. 2. Гидрограф р. Черной за год средней водности (1999 г.)

Водный режим рек в целом характеризуется следующими основными чертами (рис. 2): высоким весенним половодьем, часто захватывающего часть лета, объем которого в 10 – 12 раз больше среднего годового расхода воды, летней меженью, изредка прерываемой дождями, осенним паводками, значительно уступающими весенним максимумам, и зимней меженью, более низкой, чем летняя, отличающейся установлением устойчивого ледового покрова в течение 5 – 7 месяцев. Весной проходит около 65 – 70% годового стока, на лето попадает 10 %, на осень – около 20% и на зиму – 5% (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

3.1.2. Гидрохимическая характеристика болотных вод

Установление гидрохимического фона проводилось на основе обобщенных данных Северо-Западного УГМС за период 1993 – 2010 гг. для общих гидрохимических показателей р. Черной (степень заболоченности 63%), биогенных и органических веществ и для загрязняющих веществ за 2016 – 2017 гг. Для характеристики болотного гидрохимического фона выбран грядово-мочажинный комплекс (скв. 205) как наиболее характерный микроландшафт исследуемого болота. Установленные фоновые содержания основных компонентов химического состава болотных и речных вод приведены в табл. 3, средние содержания загрязняющих веществ – в табл. 4.

Таблица 3. Фоновые гидрохимические характеристики р. Черной и грядово-мочажинного комплекса (скв.205) Иласского болота за период 1993 – 2010 гг.

Характеристика	Речные воды			Болотные воды		
	N	C _v	C _ф	N	C _v	C _ф
pH	83	0,17	5,1 ± 0,2	83	0,10	4,3 ± 0,08
Минерализация, мг/л	78	1,25	33 ± 7,7	74	0,52	26 ± 2,6
Ca ²⁺	78	0,96	5,4 ± 1,0	75	0,82	3,8 ± 0,6
Mg ²⁺	78	0,93	2,1 ± 0,4	75	0,90	1,4 ± 0,2
Na ⁺ + K ⁺	83	0,47	2,8 ± 0,2	83	0,57	5,3 ± 0,6
HCO ₃ ⁻	80	2,54	10,1 ± 4,7	81	6,36	0,6 ± 0,7
Cl ⁻	83	0,52	2,5 ± 0,2	83	0,49	4,6 ± 0,4
SO ₄ ²⁻	83	0,69	7,3 ± 0,9	83	0,68	10,8 ± 1,3
Цветность, градусы	83	0,55	398 ± 40	83	0,40	943 ± 70
Бихроматная окисляемость, мгО/л	83	0,50	79 ± 7,1	83	0,34	210 ± 12,9
Фосфор минеральный, мгP/л	83	0,64	0,01 ± 0,001	83	1,04	0,04 ± 0,01
Азот нитратный, мгN/л	83	1,06	0,05 ± 0,01	82	0,99	0,13 ± 0,03
Азот нитритный, мгN/л	83	3,49	0,002 ± 0,001	82	2,22	0,003 ± 0,001
Азот аммонийный, мгN/л	83	0,63	0,07 ± 0,01	83	0,82	0,16 ± 0,02
Кремний, мгSi/л	83	0,74	1,8 ± 0,2	83	0,60	1,8 ± 0,2
Железо общее, мгFe/л	81	0,65	0,9 ± 0,1	82	0,48	2,6 ± 0,2

Примечание: ГМК* - грядово-мочажинный комплекс (скв. 205); N – число проб; C_v – коэффициент вариации; C_ф – фоновое содержание компонента

Сопоставление фоновых содержаний гидрохимических показателей болотных и речных вод позволяет установить общие и отличительные признаки исследуемых вод. Для болотных вод характерна ультрамалая минерализация (26 мг/л), близкая к атмосферной, кислая реакция среды (pH = 4,3), высокое содержание органических веществ (БО = 943 мгО/л), а также пониженные значения окисленных форм азота и фосфора (0,003 – 0,13 мг/л).

Анализ и обобщение полученных данных позволяет выделить основные признаки влияния болот на реки, принимающие сток с болот: менее кислая реакция среды (pH = 5,1), малая минерализация (33 мг/л), обогащение речных вод органическими веществами (БО = 79 мгО/л), сопровождающимся увеличением цветности (398 градусов).

Таблица 4. Средние концентрации загрязняющих веществ (мкг/л) в болотных и речных водах Иласского массива за 2016 – 2017 гг.

Пункт отбора проб	Cr	Mn	Pb	Ni	Cu	Zn	H/y	Фенолы
Река Черная	0,25	65	1	1	1	9	10	6
Скв 205	6	70	3	4	5	20	10	20

Примечание: н/п – нефтеуглеводороды

Как видно из представленных данных в табл. 4, средние концентрации загрязняющих веществ болотных вод значительно превышают речные: по свинцу,

никелю, меди, цинку и фенолам установлено превышение в 2 – 5 раз, а для хрома – в 24 раза по сравнению с р. Черная. Стоит отметить, содержание марганца и нефтепродуктов практически одинаково.

3.1.3. Гидрохимические особенности болотных и речных вод

Несмотря на близкие значения фоновых содержаний основных гидрохимических показателей, в химическом составе болотных и речных вод существуют принципиальные различия.

На основе корреляционного анализа репрезентативных выборок с числом членов более 50 (табл. 5 – 6) установлены принципиальные различия корреляционных связей исследованных болотных и речных вод. Несмотря на близкие значения рН, коэффициенты корреляции между рН и общей минерализацией существенно отличаются: в болотных водах $R = +0,16$ в речных водах $R = +38$. Кроме того, в болотных водах наиболее тесная связь установлена в системе: минерализация – сульфат ион $R = +0,62$, тогда как в речных водах связь между минерализацией и сульфат ионом отсутствует ($R = +0,13$) при тесной связи минерализации с гидрокарбонатами ($R = +0,76$). Это указывает на принципиально иные условия формирования химического состава вод реки в сравнении с болотными водами, которые определяются повышенной аэрацией в условиях открытой воды рек, что приводит к усилению окислительных процессов, снижению (в 3 раза) содержания органических веществ (по бихроматной окисляемости), появлению гидрокарбонатов и переформатированию ионного состава речных вод (M – Na (Ca) – HCO_3) в сравнении с болотными (M – Ca (Na) – SO_4).

Стоит отметить, что связь минерализации и биогенных элементов (NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4) отсутствует как в болотных ($R = (-0,04) - (+0,31)$), так и в речных водах ($R = (-0,17) - (+0,09)$), однако для речных отмечается тесная зависимость соединений кремния с гидрокарбонатными ионами и натрием ($R = (\pm 0,61) - (\pm 0,65)$).

Таблица 5. Корреляционная матрица общей минерализации, главных ионов, биогенных и органических веществ болотных вод грядово-мочажинного комплекса Иласского болотного массива ($N = 1298$) за период 1993 – 2010 гг.

Компонент	pH	Цветность	M	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Si	Fe	БО
pH	1	-0,15	0,16	0,03	0,04	0,19	0,10	0,21	0,27	0,36	0,07	0,33	-0,01	-0,24	-0,32	-0,45
Цветность	-0,15	1	-0,06	0,10	0,12	0,00	-0,06	0,11	-0,12	0,05	0,18	0,05	0,10	0,00	0,28	0,34
Минерализация	0,16	-0,06	1	0,51	0,66	0,46	0,23	0,62	0,38	0,31	0,11	0,17	-0,04	0,13	0,10	0,08
Ca^{2+}	0,03	0,10	0,51	1	0,84	0,12	0,21	0,31	0,10	-0,06	-0,12	0,02	-0,13	0,11	0,10	0,14
Mg^{2+}	0,04	0,12	0,66	0,84	1	0,07	0,17	0,44	0,13	0,20	0,16	0,04	-0,06	0,01	0,13	0,14
$Na^+ + K^+$	0,19	0,00	0,46	0,12	0,07	1	0,25	0,46	0,58	0,20	0,08	0,38	0,40	-0,14	-0,08	0,03
HCO_3^-	0,10	-0,06	0,23	0,21	0,17	0,25	1	0,36	0,28	0,45	-0,01	0,34	-0,11	-0,21	-0,19	-0,36
SO_4^{2-}	0,21	0,11	0,62	0,31	0,44	0,46	0,36	1	0,22	0,32	0,18	0,28	0,11	-0,18	-0,03	-0,01
Cl^-	0,27	-0,12	0,38	0,10	0,13	0,58	0,28	0,22	1	0,03	0,02	0,26	0,16	-0,09	-0,12	-0,03
NO_3^-	0,36	0,05	0,31	-0,06	0,20	0,20	0,45	0,32	0,03	1	0,24	0,36	0,18	-0,25	0,04	-0,10
NO_2^-	0,07	0,18	0,11	-0,12	0,16	0,08	-0,01	0,18	0,02	0,24	1	0,15	0,32	0,11	0,12	0,01
NH_4^+	0,33	0,05	0,17	0,02	0,04	0,38	0,34	0,28	0,26	0,36	0,15	1	0,17	-0,22	-0,04	-0,16
PO_4^{3-}	-0,01	0,10	-0,04	-0,13	-0,06	0,40	-0,11	0,11	0,16	0,18	0,32	0,17	1	-0,23	-0,13	0,13
Si	-0,24	0,00	0,13	0,11	0,01	-0,14	-0,21	-0,18	-0,09	-0,25	0,11	-0,22	-0,23	1	0,26	0,16
Fe	-0,32	0,28	0,10	0,10	0,13	-0,08	-0,19	-0,03	-0,12	0,04	0,12	-0,04	-0,13	0,26	1	0,46
Бихроматная окисляемость	-0,45	0,34	0,08	0,14	0,14	0,03	-0,36	-0,01	-0,03	-0,10	0,01	-0,16	0,13	0,16	0,46	1

Примечание: БО – бихроматная окисляемость

Таблица 6. Корреляционная матрица общей минерализации, главных ионов, биогенных и органических веществ речных вод р. Черная Иласского болотного массива (N = 1308) за период 1993 – 2010 гг.

Компонент	pH	Цветность	M	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Fe	БО
pH	1	-0,18	0,38	0,39	0,34	0,28	0,47	0,13	0,13	-0,12	0,03	-0,03	0,02	0,37	0,00	-0,18
Цветность	-0,18	1	-0,29	-0,26	-0,21	-0,22	-0,36	0,18	-0,01	0,14	-0,15	0,15	-0,03	-0,29	0,19	0,42
Минерализация	0,38	-0,29	1	0,85	0,88	0,73	0,76	0,13	0,31	-0,17	0,02	-0,05	0,09	0,49	0,12	-0,27
Ca ²⁺	0,39	-0,26	0,85	1	0,97	0,66	0,70	0,13	0,21	-0,21	-0,01	0,01	0,23	0,56	0,14	-0,15
Mg ²⁺	0,34	-0,21	0,88	0,97	1	0,68	0,69	0,18	0,27	-0,18	-0,02	0,03	0,16	0,57	0,14	-0,15
Na ⁺ + K ⁺	0,28	-0,22	0,73	0,66	0,68	1	0,75	0,19	0,43	-0,09	-0,04	-0,13	0,13	0,61	0,01	-0,25
HCO ₃ ⁻	0,47	-0,36	0,76	0,70	0,69	0,75	1	0,03	0,27	-0,12	0,06	-0,09	0,05	0,65	-0,05	-0,40
SO ₄ ²⁻	0,13	0,18	0,13	0,13	0,18	0,19	0,03	1	0,25	0,06	-0,03	-0,03	0,05	0,18	0,12	0,22
Cl ⁻	0,13	-0,01	0,31	0,21	0,27	0,43	0,27	0,25	1	0,24	-0,06	-0,07	-0,13	0,26	0,03	-0,16
NO ₃ ⁻	-0,12	0,14	-0,17	-0,21	-0,18	-0,09	-0,12	0,06	0,24	1	0,07	0,15	-0,11	-0,22	-0,03	0,07
NO ₂ ⁻	0,03	-0,15	0,02	-0,01	-0,02	-0,04	0,06	-0,03	-0,06	0,07	1	0,06	0,00	0,03	-0,08	-0,11
NH ₄ ⁺	-0,03	0,15	-0,05	0,01	0,03	-0,13	-0,09	-0,03	-0,07	0,15	0,06	1	0,22	-0,17	0,27	0,22
PO ₄ ³⁻	0,02	-0,03	0,09	0,23	0,16	0,13	0,05	0,05	-0,13	-0,11	0,00	0,22	1	0,03	0,31	0,21
Si	0,37	-0,29	0,49	0,56	0,57	0,61	0,65	0,18	0,26	-0,22	0,03	-0,17	0,03	1	0,06	-0,20
Fe	0,00	0,19	0,12	0,14	0,14	0,01	-0,05	0,12	0,03	-0,03	-0,08	0,27	0,31	0,06	1	0,67
Бихроматная окисляемость	-0,18	0,42	-0,27	-0,15	-0,15	-0,25	-0,40	0,22	-0,16	0,07	-0,11	0,22	0,21	-0,20	0,67	1

Примечание: БО – бихроматная окисляемость

3.1.4. Оценка среднемноголетних значений стока растворенных веществ в р. Черной

Значительное место в работе занимает анализ стока растворенных гидрохимических веществ, являющийся базовой характеристикой, учитываемой в различных проектных изысканиях, а также показателем загрязнения поверхностных вод.

На основе установленных фоновых содержаний минеральных, биогенных и органических веществ и среднемноголетнего расхода воды за период 1993 – 2010 гг. были рассчитаны модули гидрохимического речного стока Иласского болота, приведенные в табл. 7. Модули речного стока загрязняющих веществ приведены в табл. 8.

Таблица 7. Модули стока растворенных веществ в р. Черной за период 1993 – 2010 гг. (Иласский болотный массив)

Среднемноголетний модуль речного стока, л/км ²	Модуль ионного стока	Модуль стока органического вещества	Модуль стока биогенных веществ			
	$P_{И}, \frac{т}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{С}, \frac{т}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{N}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{P04}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Fe}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Si}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$
10,3	10,8	19,3	39	3,3	293	586

Примечание: модуль стока минерального азота определен как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота; модуль стока минерального фосфора-по фоновому содержанию фосфора фосфатов, модуль стока органического углерода – по содержанию ХПК

Таблица 8. Модули стока загрязняющих веществ в р. Черной в сравнении с литературными данными

Сопоставление	$P_{N/у}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Фенолы}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Mn}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Pb}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Ni}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Cu}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Zn}, \frac{кг}{км^2 \cdot ГОД}$
2016 – 2017 гг.	3,3	1,98	21,5	0,33	0,33	0,33	2,97
Литературные данные*	12	0,6	-	-	-	1,0	2,0

Примечание: * - данные взяты из сборника Мальцева А. В. и др. 1987

Анализ установленных модулей стока с литературными данными показывает значительное увеличение (в 4 – 5 раз) модуля стока органических веществ и, наоборот снижение модуля ионного стока (в 1,5 – 2 раза) в р. Черной по сравнению с фоновыми значениями рек Северного Ледовитого Океана (Мальцева и др., 1987; Никаноров, 2011).

Модули стока биогенных элементов (минеральных форм азота и фосфора) близки к фоновым значениям для речных вод. Модули стока общего железа (293 мг/л) и кремния (586 мг/л) превышают фоновые в 2 – 4 раза. Сопоставление полученных значения модулей стока загрязняющих веществ с литературными данными выявляет ряд интересных особенностей, а именно, более низкие модули стока нефтеуглеводородов и меди, и более высокие значения стока фенолов в болотной реке по сравнению с фоновыми.

Изучение зависимости модулей гидрохимического стока от водности позволяет сделать вывод о статистически значимом увеличении (в 1,5 – 2 раза) стока органических и биогенных веществ, включая общее железо и кремний, в многоводные годы; значимой изменчивости модулей ионного стока для лет разной водности не выявлено. Очевидно, это обусловлено разнонаправленными изменениями концентраций и расходов воды: в многоводные годы концентрации ионов уменьшаются на фоне увеличения расходов воды, а маловодные – концентрации увеличиваются при уменьшении расходов воды.

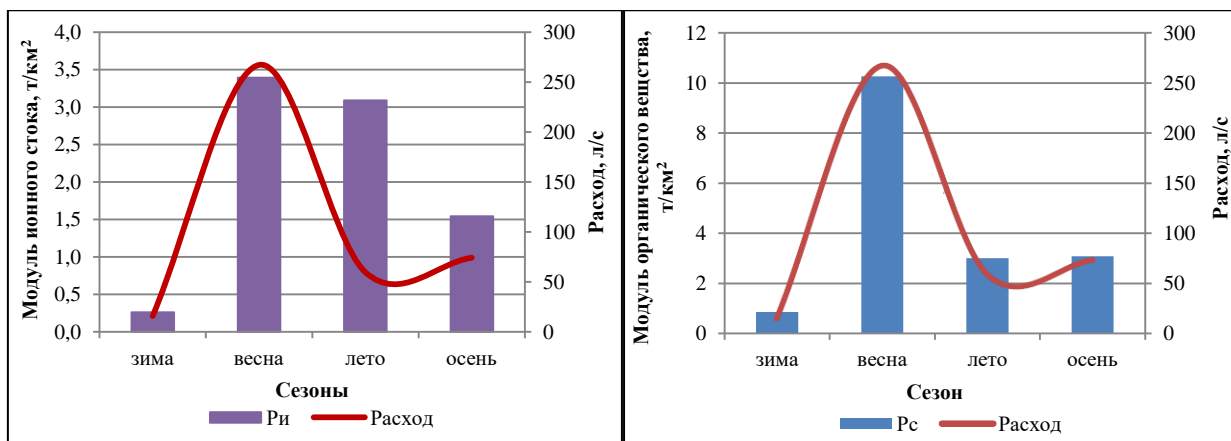
3.1.5. Оценка среднемноголетних значений сезонного стока растворенных веществ

Оценка сезонной изменчивости гидрохимического стока рек, принимающих сток, с болот, является важной составляющей, поскольку позволяет описать естественный ход химических веществ. На основе среднемноголетних среднемесячных концентраций химических веществ и среднемесячных расходов за сезоны были рассчитаны среднемесячные значения стока гидрохимических веществ для р. Черная (Иласское болото) за период 1993 – 2010 гг. (табл. 1 (Приложение)). Сезонное распределение стока растворенных различных химических веществ представлено в табл. 9.

Таблица 9. Процентное соотношение сезонного стока растворенных веществ в р. Черная за период 1993 – 2010 гг. (Иласское болото)

Сезон	$P_{И}, \%$	$P_{С}, \%$	$P_{N}, \%$	$P_{PO_4}, \%$	$P_{Fe}, \%$	$P_{Si}, \%$
Зима	3	5	8	4	3	3
Весна	41	60	64	63	53	52
Лето	37	17	17	19	24	24
Осень	19	18	11	14	19	21

Сезонное распределение ионного стока и стока органических веществ, рассчитанное за многолетний период наблюдений, имеет ряд существенных различий (рис. 3).



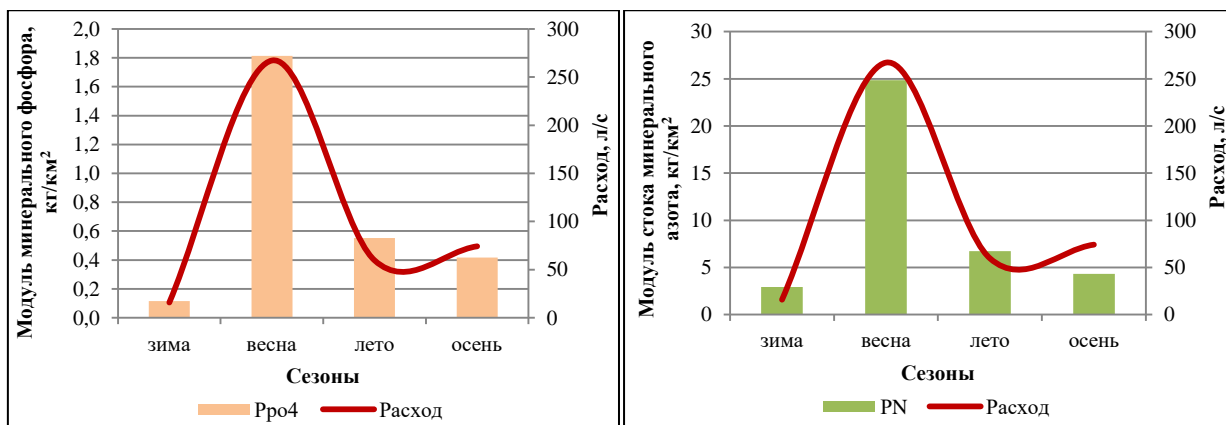
а

б

Рис.3. Совмещенный график сезонных модулей ионного стока (а) и стока органического вещества (б) и среднемесячных расходов воды для р. Черная

Ход кривой изменения модуля стока органических веществ (рис. 3б) совпадает с ходом гидрографа и коррелирует с увеличением бихроматной окисляемости при максимальных расходах воды. Ход кривой модуля ионного стока имеет несколько иной характер (рис. 3а). Относительно небольшое различие модулей ионного стока в периоды весеннего половодья и летней межени обусловлено разнонаправленным характером изменения расходов и общей минерализации воды: уменьшением минерализации в весенний период на фоне увеличения расходов воды и, наоборот увеличением минерализации в летний период при снижающихся расходах воды. При этом максимальные значения модуля ионного стока ($P_{И} = 3,4 \frac{т}{км^2}$), как и модуля стока органических веществ ($P_{С} = 10 \frac{т}{км^2}$), установлены в период весеннего половодья.

Согласно полученным данным (табл. 9), ход сезонных модулей стока минерального фосфора и азота в значительной мере отличается от хода ионного стока. Кривые распределения модулей P_{N} и P_{PO_4} повторяют ход гидрографа (рис. 4а, 4б): в период весеннего половодья модули стока увеличиваются прямо пропорционально увеличению расходов на фоне снижения концентраций минеральных форм фосфора и азота (63 – 64%). В меженные периоды, когда на реках наблюдаются минимальные расходы воды, модули стока минерального фосфора и азота, соответственно снижаются (4 – 8%). Как и для $P_{С}$ и $P_{И}$ максимальные значения модулей стока минерального фосфора ($1,8 \text{ кг}/км^2$) и азота ($24,9 \text{ кг}/км^2$) установлены в весеннее половодье.

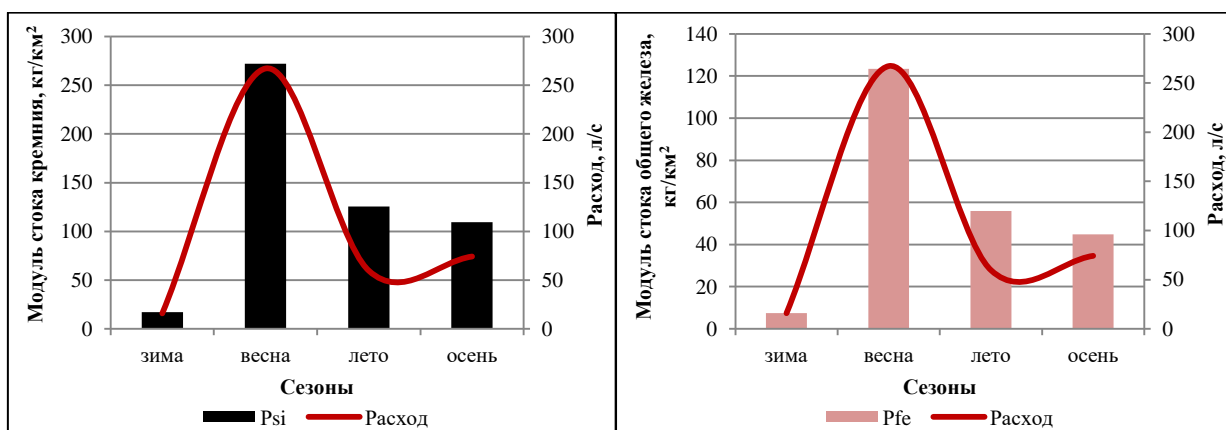


а

б

Рис. 4. Совмещенный график сезонных модулей минерального фосфора (а) и азота (б) и среднемесячных расходов воды для р. Черная

В соответствии с представленным данными на диаграммах (рис. 5а, 5б), установлены следующие особенности для модулей стока кремния и общего железа. Для них характерно повторение графика распределения расходов воды во времени: в половодье показатели P_{Si} и P_{Fe} увеличиваются, а в период малой воды – уменьшаются, причем максимальные значения модуля стока кремния (272 кг/км^2) и общего железа ($123,4 \text{ кг/км}^2$) зафиксированы весной.



а

б

Рис. 5. Совмещенный график сезонных модулей кремния (а) и общего железа (б) и среднемесячных расходов воды для р. Черная

Были рассчитаны среднемноголетние и сезонные характеристики гидрохимического стока. Обобщая полученные данные, можно сделать вывод о том, что сток органических веществ в 2 раз превышает ионный. Максимальный сток для

биогенных элементов установлен для соединений кремния и железа, минимальный – для минерального фосфора. Для олиготрофных болот отмечается превышение модулей ионного стока (10,8 т/км²) и стока органических веществ (19,3 т/км²) в 2 – 3 раза по сравнению с региональным фоном. Сезонное распределение модулей стока различных гидрохимических веществ показывает, что максимальные их значения отмечаются в периоды весеннего половодья (56%), минимальные – в зимнюю межень и осенние паводки (4 – 17%). Увеличение модулей стока в летний период, вероятно, объясняется концентрационным фактором – летом концентрации химических веществ значительно превышают расходы воды.

3.2. Гидрохимический сток рек внешних водоприемников Васюганского болотного массива

3.2.1. Физико-географическое описание

Одна из самых крупных болотных систем в мире, Васюганская, площадью около 53 км², расположена в Томской области, где на долю болот и заболоченных угодий приходится около 70% площади. Общая протяженность Васюганских болот с северо-запада на юго-восток составляет 800 км по ширине иногда достигает 300 – 350 км. Посередине этого массива проходит граница между двумя болотными зонами, так, что северная часть его входит в зону олиготрофных болот, а южная — в зону эфтрофных (Соколов, 1952).

В Западной Сибири выделяется ряд болотных зон, сменяющихся с севера на юг и отличающихся по степени и характеру заболоченности. Повсеместное развитие здесь болот обусловлено обилием осадков, общей равнинностью рельефа, малыми уклонами, наличием плоских водоразделов и тяжелых грунтов. Заболоченность отдельных бассейнов рек достигает 20 – 60 % (Соколов, 1952).

Васюганское болото относится к преимущественно верховым и частично низинным, в некоторой мере нарушенным, где нефтеразработками занята только его северо-восточная часть – бассейны реки Вах; бассейны рек Васюган и Тром-Юган не затронуты прямой нефтедобычей. Особенностью Васюганья является преобладание верховых грядово-мочажинных болот (рис. 6), достигших оптимального развития и занимающих водораздельные пространства и плоские террасы (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

Помимо верховых болот небольшие площади занимают и низинные. Среди таких типов болот преобладают безлесные сильно обводненные осоково-гипновые болота, на

поверхности которых тянутся длинные, узкие гряды, удаленные друг от друга на значительное расстояние. На грядах произрастают кустарники и сфагновые мхи, на более низких грядах – гипновые мхи с отдельными березами и соснами. Среди эвтрофных болот островками расположены верховые сосново-кустарничково-сфагновые болота – рямы (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

Широкое распространение получили и мезотрофные болота, среди которых так же встречаются облесенные и открытые. Облесенные типы болот покрыты сосной или березой, вереском, осокой и сфагновыми мхами. На безлесных болотах распространены ковры из сфагновых мхов (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

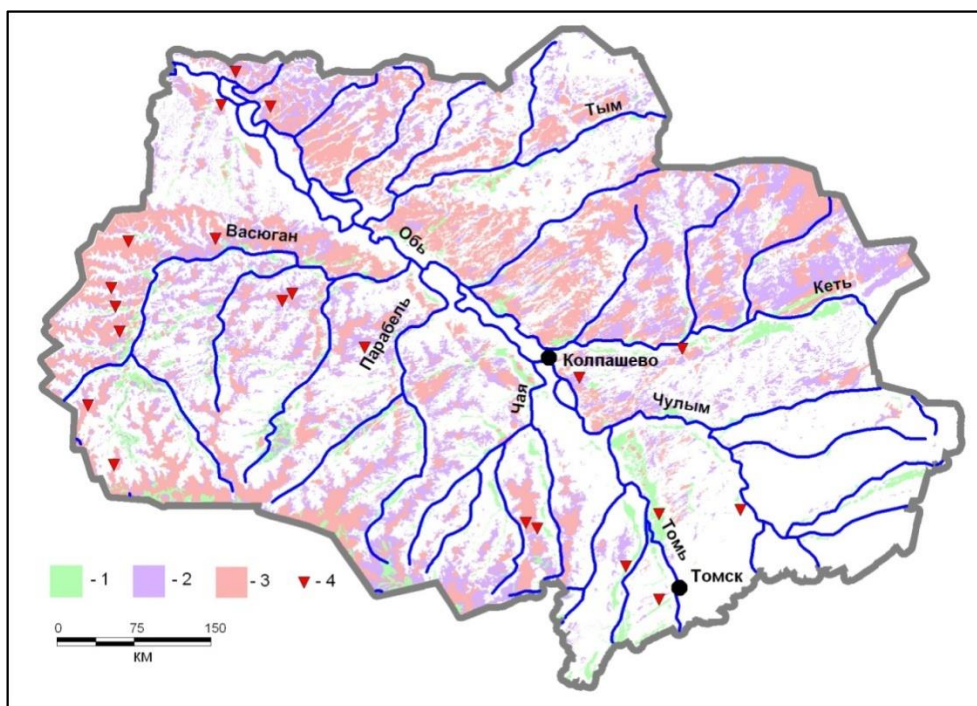


Рис. 6. Схема размещения пунктов наблюдений за химическим составом болотных вод, а также типы болот Верхней Оби: 1 – эвтрофные; 2 – мезотрофные; 3 – олиготрофные (Савичев, 2013)

Распространение по территории лесных заболоченных массивов оказывает существенное влияние на формирование химического состава поверхностных вод. Болота обогащают поверхностные воды большим количеством органических соединений, вследствие чего на заболоченных водосборах формируются воды малой минерализации, высокой окисляемости и цветности (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

Васюганская болотная отличается густой речной сетью (Ресурсы поверхностных вод, 1972), принадлежащей бассейну Карского моря. В качестве исследуемых рек были

выбраны Васюган и Тром-Юган, левый и правый притоки Оби (рис. 7), вследствие большой заболоченности водосборов этих рек (до 40%).

Гидрография рассматриваемой территории имеет ряд особенностей, что в первую очередь связано с изменением соотношения элементов водного баланса: здесь происходит заметное увеличение атмосферных осадков и уменьшение их потерь на испарение, поэтому резко увеличивается поверхностный сток. Для региона характерна довольно развитая речная сеть; коэффициент стока колеблется в пределах 0,4 – 0,5 м, средний годовой модуль стока их достигает 4-6 л/сек км² (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

Границы водоразделов расположены в лесной, сильно заболоченной зоне, поэтому рассматриваемые реки отличаются слабовыраженными водоразделами и ассиметричными долинами ящикообразной формы. Реки, пересекающие болота, имеют низкие, топкие берега и часто сливаются с займищами и сорами. Исключительная равнинность территории отражается в малых падениях рек. Течение рек едва заметно, берега низкие, болотистые, поймы широкие, с многочисленными озерами. Реки имеют очень извилистые русла; они блуждают по широким поймам и в период половодья сильно разливаются и подтопляют примыкающие болота (Ресурсы поверхностных вод, 1972)



Рис. 7. Посты на реках Тром-Юган и Васюган

Река Васюган берет начало в болотах Обско-Иртышского междуречья, имеет равнинный характер, весьма извилиста. В верховьях река протекает среди низких

заболоченных берегов. Пойма изобилует множеством озер и стариц. В среднем течении высота берегов увеличивается иногда до 50 м, а ширина достигает 300 – 400 м. Правые склоны рек более крутые по сравнению с левыми, и значительно рассечены долинами притоков. В нижнем течении река становится многоводной, ее ширина значительно увеличивается. Пойма на этом участке широкая, с большим количеством отмелей, перекатов, проток. Водосбор р. Васюган значительно залесен, что сказывается на общей минерализации вод и других гидрохимических показателях (Ресурсы поверхностных вод, 1972; Соколов. 1952).

Река Тром-Юган является правым притоком р. Оби и берет свое начало в Сибирских Увалах. Отличительной особенностью реки является наличие на водосборе отдельных участков многолетней мерзлоты, которая служит водупором. Это создает благоприятные условия для застойных явлений, заболачивания и образования многочисленных мелких водных объектов – озер. Кроме того, на водосборе ведется активная нефтедобыча, что оказывает существенное влияние на качество поверхностных вод (Ресурсы поверхностных вод, 1972; Соколов, 1952).

Гидрографическая характеристика и ландшафтные особенности исследуемых рек-водоприемников представлены в табл. 10.

Таблица 10. Гидрографическая характеристика водотоков Васюганского болотного массива

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Заболоченность, %	Лесистость, %	Озерность, %	Среднегодовой расход воды м ³ /с
р. Васюган – с. Средний Васюган	31 700	1 082	40	58	2	161
р.Тром-Юган – пос. Ермаково	13 500	581	45	30	25	114

Водный режим рек характеризуется низким, растянутым на 2,5 – 3,5 месяца весенне-летним половодьем, захватывающим иногда большую часть лета, и устойчивыми, высокими уровнями и расходами воды в остальное время (рис. 8). Реки южной части Васюганской водной провинции при малых уклонах не успевают пропустить всего объема талой воды летом, и спад половодья иногда затягивается до поздней осени. На севере исследуемой территории водный режим рек схож с водным режимом северных районов Ямало-Ненецкого Автономного Округа: низкая зимняя межень, сменяющаяся резким

подъемом расходов в половодье (р. Тром-Юган). Летние дожди также способствуют увеличению продолжительности половодья. Замерзают реки в первых числах ноября, а вскрываются в конце апреля или начале мая; ледостав характеризуется устойчивостью, а ледяной покров большой мощностью; зимой наблюдаются зажоры (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

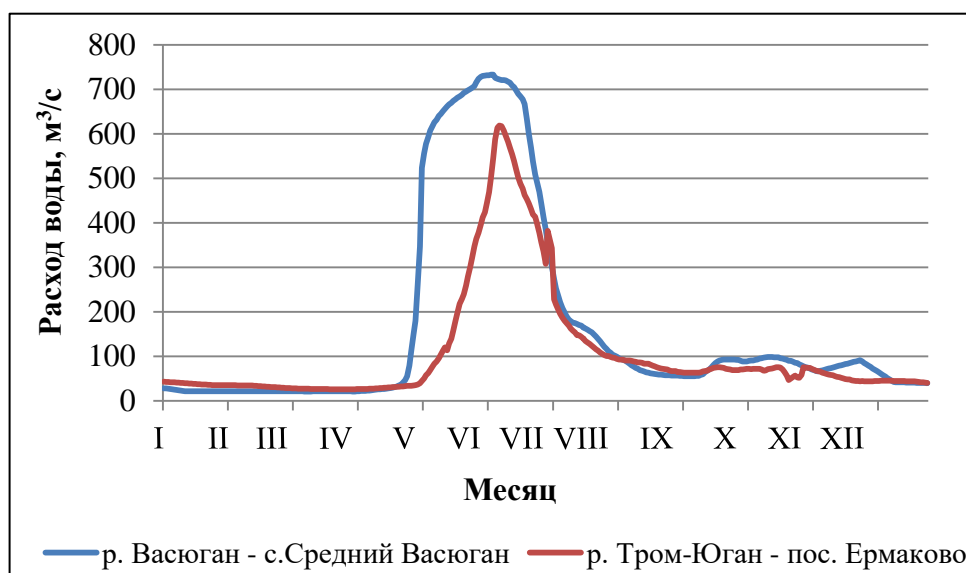


Рис. 8. Гидрографы р. Васюган – с. Средний Васюган (2010 г.) и р. Тром-Юган (1963 г.) за год средней водности

Исследуемые реки значительно отличаются в питании. Так, для р. Васюган основным источником питания рек являются зимние осадки, формирующие до 65 – 70 % годового стока. В р. Тром-Юган участие твердых осадков в питании рек снижается до 55 % в связи с высокими водопоглонительными свойствами лесной подстилки, способствующей переводу значительной части весеннего поверхностного стока в подземный. Грунтовый здесь сток увеличивается в среднем составляет до 15 – 20 %. Доля дождевого питания рек Васюганской провинции незначительна и составляет до 10 – 15% (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

3.2.2 Гидрохимическая характеристика различных микроландшафтов Васюганского болотного массива

На основе обобщенных данных, полученных в ходе исследований, выполненных в период 1993 – 2015 гг. сотрудниками Томского Политехнического университета (ТПУ) были определены фоновые гидрохимические показатели для поверхностных вод

Васюганского болотного массива. Объем данных по Васюганскому болоту составил 992 члена, по рекам 571 и 341 член для р. Васюган и Тром-Юган, соответственно.

Для выявления отличительных особенностей химического состава вод различных болотных микроландшафтов, широко представленных на Васюганском болоте, были сформированы следующие массивы данных: первая выборка включала все типы микроландшафтов Васюганья, вторая – олиготрофные, третья – мезотрофные и эвтрофные. Установленные среднемноголетние фоновые гидрохимические характеристики болотных вод представлены в табл. 11.

Для болотных вод олиготрофных микроландшафтов Васюганья характерна малая минерализация (23 мг/л), близкая к минерализации атмосферных осадков, кислая реакция среды ($\text{pH} = 4,3$), сопровождающаяся увеличением цветности (878 градуса), а также концентраций общего железа (2,05 мгFe/л) и восстановленных форм азота – аммонийного – 4,7 мгN/л. Весьма отличается и ионный состав данного типа микроландшафтов: среди анионов преобладают гидрокарбонатные или сульфатные ионы и ионы кальция. Все это говорит о том, что олиготрофные микроландшафты Васюганья имеют преимущественно атмосферное питание; влияние грунтового питания отсутствует. Тяжелые металлы активно поступают в болотные воды из торфяной залежи, поэтому здесь можно отметить превышение ПДК_{р/х} по всем компонентам (Предельно-допустимые концентрации, 1995): по марганцу (13 ПДК_{р/х}), меди (4 ПДК_{р/х}) и цинку (6 ПДК_{р/х}). Выявлены высокие концентрации и нефтепродуктов – 2,1 мг/л – что, очевидно связано с интенсивной нефтедобычей на водосборе р. Васюган.

Таблица 11. Фоновые гидрохимические характеристики различных типов микроландшафтов Васюганского болота за период 2000 – 2015 гг.

Характеристика	Олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные микроландшафты			Олиготрофные микроландшафты			Мезотрофные и эвтрофные микроландшафты		
	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>
рН	80	0,28	5,2 ± 0,3	43	0,16	4,3 ± 0,2	36	0,25	6,2 ± 0,4
Цветность, градусы	19	0,63	792 ± 200	17	0,52	878 ± 0,5	2	0,06	60 ± 7,9
Минерализация, мг/л	79	1,64	290 ± 88,9	43	0,60	23 ± 0,6	7	0,55	626 ± 162
<i>Ca</i> ²⁺	79	1,37	34,2 ± 8,8	43	0,83	6,7 ± 0,8	35	0,81	65,5 ± 0,8
<i>Mg</i> ²⁺	79	1,33	10 ± 2,5	43	0,85	2,2 ± 0,95	35	0,85	17,6 ± 0,9
<i>Na</i> ⁺ + <i>K</i> ⁺	79	2,19	33,6 ± 13,7	43	1,03	1,9 ± 1,03	24	1,32	74 ± 1,3
<i>HCO</i> ₃ ⁻	80	1,71	176,2 ± 55,9	43	1,39	4,9 ± 1,4	36	0,92	384,1 ± 0,9
<i>Cl</i> ⁻	80	1,93	29,2 ± 10,4	43	0,57	2,4 ± 0,6	36	1,12	64,1 ± 1,1
<i>SO</i> ₄ ²⁻	80	1,71	7,2 ± 2,3	43	1,54	4,7 ± 1,5	36	1,53	10,8 ± 1,5
Азот нитратный, мгN/л	79	1,70	1,9 ± 0,6	43	1,09	1,5 ± 1,1	35	0,91	0,5 ± 1,3
Азот нитритный, мгN/л	78	3,25	0,1 ± 0,04	43	1,79	0,03 ± 1,8	35	0,78	0,03 ± 0,08
Азот аммонийный, мгN/л	80	2,03	10,8 ± 4,05	43	0,77	4,7 ± 0,8	35	0,82	14,7 ± 9
Фосфор фосфатов, мгP/л	60	2,71	2,8 ± 1,6	38	1,09	0,2 ± 1,1	25	1,24	2,3 ± 3,8
Кремний, мгSi/л	63	0,87	5,9 ± 1,1	40	0,63	3,8 ± 0,6	25	1,32	9,2 ± 2,2
Марганец, мкгMn/л	43	1,13	180,7 ± 52,3	17	0,52	126 ± 0,5	24	1,29	258,1 ± 153
Железо общее, мгFe/л	79	3,41	9,7 ± 6,2	43	0,51	2,05 ± 0,5	36	0,92	19,7 ± 14
Медь, мкгCu/л	45	1,04	4,4 ± 1,2	23	0,64	4,1 ± 0,6	36	1,12	4,8 ± 2,6
Цинк, мкгZn/л	45	1,17	45,4 ± 13,3	23	1,09	57,9 ± 1,1	36	1,53	29,5 ± 12,8
Свинец, мкгPb/л	50	1,18	1,5 ± 0,4	19	1,18	1,2 ± 1,2	35	1,93	1,5 ± 0,8
Перманганатная окисляемость, мгO/л	47	0,52	78,3 ± 10,0	29	0,27	92,7 ± 0,3	34	3,15	56,5 ± 19,8
Бихроматная окисляемость, мгO/л	60	1,06	252 ± 57,4	33	0,58	177,5 ± 0,6	35	1,65	300 ± 109,4
Фенолы, мг/л	27	2,69	0,007 ± 0,006	9	0,52	0,001 ± 0,5	24	1,61	0,01 ± 0,01
Нефтепродукты, мг/л	58	2,39	0,2 ± 0,1	25	2,52	0,21 ± 2,5	26	0,70	0,3 ± 0,2

Примечание: *C_v* – коэффициент вариации; *D_f* – фоновое содержание компонента, *N* – число проб

Эвтрофные типы микроландшафтов существенно отличаются от олиготрофных, для которых можно отметить снижение кислотности ($pH = 6,2$), сопровождающееся увеличением общей минерализации (626 мг/л), что говорит о значительной доле грунтового питания в болоте, низкая цветность (60 градусов) на фоне увеличения органического вещества (300 мгО/л). Для низинных болот характерны высокие значения аммонийного азота (14,7 мг/л) и железа (19,7 мг/л), а также многократное превышение ПДК_{р/х} по загрязняющим веществам (Предельно-допустимые концентрации, 1995): тяжелым металлам – марганцу (26 ПДК_{р/х}), меди (5 ПДК_{р/х}) и цинку (3 ПДК_{р/х}) – и нефтепродуктам (10 ПДК_{р/х}). Для олиготрофных микроландшафтов превышения ПДК гораздо ниже.

Для выявления генезиса формирования химического состава вод разнотипных болот в условиях Обь-Иртышского междуречья был проведен корреляционный анализ зависимости минерализации от главных ионов (табл. 12 – 13). Для всех микроландшафтов наиболее тесная связь минерализации прослеживается между гидрокарбонатными и кальциевыми ионами ($R = +1,00$; $R = +0,89$), а также магнием и хлоридами ($R = +0,84$), в то время как для олиготрофных микроландшафтов эта связь слабее ($R = +0,72$; $R = +0,69$). Кроме того, выявлена близкая связь для всех типов микроландшафтов между pH и общей минерализацией ($R = +0,80$), что указывает на прямую зависимость pH от значений общей минерализации. Стоит заметить, что связь минерализации от сульфат-ионов для различных типов микроландшафтов отсутствует ($R = +0,36$).

Для олиготрофных болот установлена близкая связь между цветностью, кремнием ($R = +0,50$) и цинком ($R = +0,53$), а также меди с рядом других металлов – марганцем ($R = +0,87$) и цинком ($R = +0,70$), что может свидетельствовать о выщелачивании тяжелых металлов и кремния из торфяной залежи.

Таблица 12. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации всех микроландшафтов болотных вод Васюганского болотного массива (N = 1615) за 2000 – 2015 гг.

Компонент	pH	Цветность	M	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Mn	Fe	Cu	Zn	ПО	Фенолы	Н/п
pH	1	-0,27	0,80	0,83	0,75	0,65	0,82	0,72	0,36	0,01	0,19	0,47	0,48	0,45	0,19	0,28	-0,07	-0,20	-0,46	0,26	0,21
Цветность	-0,27	1	-0,25	-0,27	-0,26	-0,19	-0,25	-0,21	-0,23	-0,05	-0,10	-0,08	-0,13	0,07	-0,17	-0,09	-0,25	-0,23	0,19	-0,09	-0,13
M	0,80	-0,25	1	0,89	0,84	0,92	1,00	0,84	0,36	0,10	0,24	0,52	0,62	0,61	0,23	0,39	-0,18	-0,26	-0,42	-0,03	0,22
Ca ²⁺	0,83	-0,27	0,89	1	0,91	0,67	0,91	0,67	0,20	0,12	0,26	0,25	0,35	0,39	0,28	0,37	-0,20	-0,27	-0,47	-0,04	0,05
Mg ²⁺	0,75	-0,26	0,84	0,91	1	0,62	0,85	0,61	0,22	0,06	0,20	0,27	0,32	0,35	0,28	0,39	-0,22	-0,28	-0,47	0,03	0,06
Na ⁺ + K ⁺	0,65	-0,19	0,92	0,67	0,62	1	0,88	0,87	0,38	0,08	0,21	0,59	0,72	0,74	0,18	0,24	-0,13	-0,20	-0,32	-0,04	0,31
HCO ₃ ⁻	0,82	-0,25	1,00	0,91	0,85	0,88	1	0,81	0,33	0,09	0,25	0,52	0,60	0,57	0,21	0,41	-0,19	-0,27	-0,43	-0,03	0,20
Cl ⁻	0,72	-0,21	0,84	0,67	0,61	0,87	0,81	1	0,51	0,05	0,15	0,74	0,67	0,58	0,24	0,32	-0,15	-0,22	-0,35	0,34	0,27
SO ₄ ²⁻	0,36	-0,23	0,36	0,20	0,22	0,38	0,33	0,51	1	0,18	0,05	0,61	0,43	0,22	0,02	0,05	0,05	-0,01	-0,17	0,45	0,38
NO ₃ ⁻	0,01	-0,05	0,10	0,12	0,06	0,08	0,09	0,05	0,18	1	0,76	-0,06	-0,15	-0,21	-0,14	-0,04	-0,03	-0,09	-0,12	0,00	-0,13
NO ₂ ⁻	0,19	-0,10	0,24	0,26	0,20	0,21	0,25	0,15	0,05	0,76	1	0,01	-0,05	-0,14	-0,08	-0,04	-0,08	-0,09	-0,17	0,07	-0,08
NH ₄ ⁺	0,47	-0,08	0,52	0,25	0,27	0,59	0,52	0,74	0,61	-0,06	0,01	1	0,69	0,37	-0,06	0,35	-0,14	-0,17	-0,19	0,58	0,33
PO ₄ ³⁻	0,48	-0,13	0,62	0,35	0,32	0,72	0,60	0,67	0,43	-0,15	-0,05	0,69	1	0,69	0,04	-0,05	-0,07	-0,14	-0,18	0,18	0,35
Si	0,45	0,07	0,61	0,39	0,35	0,74	0,57	0,58	0,22	-0,21	-0,14	0,37	0,69	1	0,23	-0,10	-0,04	-0,15	0,02	-0,15	0,34
Mn	0,19	-0,17	0,23	0,28	0,28	0,18	0,21	0,24	0,02	-0,14	-0,08	-0,06	0,04	0,23	1	0,13	0,33	0,25	-0,03	-0,07	-0,05
Fe	0,28	-0,09	0,39	0,37	0,39	0,24	0,41	0,32	0,05	-0,04	-0,04	0,35	-0,05	-0,10	0,13	1	-0,03	-0,10	-0,19	0,01	-0,01
Cu	-0,07	-0,25	-0,18	-0,20	-0,22	-0,13	-0,19	-0,15	0,05	-0,03	-0,08	-0,14	-0,07	-0,04	0,33	-0,03	1	0,44	0,23	-0,11	-0,02
Zn	-0,20	-0,23	-0,26	-0,27	-0,28	-0,20	-0,27	-0,22	-0,01	-0,09	-0,09	-0,17	-0,14	-0,15	0,25	-0,10	0,44	1	0,21	-0,10	-0,11
ПО	-0,46	0,19	-0,42	-0,47	-0,47	-0,32	-0,43	-0,35	-0,17	-0,12	-0,17	-0,19	-0,18	0,02	-0,03	-0,19	0,23	0,21	1	-0,19	0,01
Фенолы	0,26	-0,09	-0,03	-0,04	0,03	-0,04	-0,03	0,34	0,45	0,00	0,07	0,58	0,18	-0,15	-0,07	0,01	-0,11	-0,10	-0,19	1	0,07
Н/п	0,21	-0,13	0,22	0,05	0,06	0,31	0,20	0,27	0,38	-0,13	-0,08	0,33	0,35	0,34	-0,05	-0,01	-0,02	-0,11	0,01	0,07	1

Примечание: М – общая минерализация, ПО – перманганатная окисляемость, БО – бихроматная окисляемость, н/п – нефтепродукты

Таблица 13. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации вод олиготрофных микроландшафтов Васюганского болотного массива (N = 1600) за 1985 – 1991 гг.

Компонент	pH	Цветность	M	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Mn	Fe	Cu	Zn	ПО	Фенолы	Н/п
pH	1	-0,04	0,69	0,35	0,05	0,28	0,77	0,25	0,15	-0,21	-0,09	-0,18	0,40	0,08	0,42	-0,11	0,39	0,32	0,05	0,00	-0,02
Цветность	-0,04	1	-0,06	-0,08	-0,05	-0,01	0,21	0,28	-0,31	0,05	-0,17	0,45	-0,10	0,53	-0,43	0,39	-0,50	-0,37	0,08	-0,20	-0,14
M	0,69	-0,06	1	0,69	0,41	0,36	0,72	0,33	0,38	0,17	0,35	-0,14	0,37	-0,04	0,15	-0,17	0,26	0,07	-0,02	0,29	-0,16
Ca ²⁺	0,35	-0,08	0,69	1	0,60	-0,07	0,44	0,25	-0,11	-0,22	0,46	-0,28	0,36	-0,01	-0,01	-0,29	0,04	0,02	0,07	0,00	-0,08
Mg ²⁺	0,05	-0,05	0,41	0,60	1	-0,30	0,22	0,06	-0,18	-0,15	0,31	-0,16	0,04	-0,16	-0,19	-0,14	-0,19	-0,15	-0,07	0,29	-0,11
Na ⁺ + K ⁺	0,28	-0,01	0,36	-0,07	-0,30	1,00	0,26	0,18	0,27	0,49	0,03	-0,10	0,14	0,10	-0,05	0,10	0,01	-0,06	-0,02	0,38	0,04
HCO ₃ ⁻	0,77	0,21	0,72	0,44	0,22	0,26	1	0,24	-0,16	-0,13	0,07	-0,26	0,25	0,10	-0,06	-0,03	-0,07	0,04	-0,20	0,27	-0,16
Cl ⁻	0,25	0,28	0,33	0,25	0,06	0,18	0,24	1	-0,06	-0,17	-0,11	0,36	0,42	0,55	-0,17	0,24	-0,20	-0,25	0,46	-0,17	-0,05
SO ₄ ²⁻	0,15	-0,31	0,38	-0,11	-0,18	0,27	-0,16	-0,06	1	0,59	0,17	0,23	0,06	-0,24	0,48	-0,11	0,67	0,20	0,04	0,11	-0,06
NO ₃ ⁻	-0,21	0,05	0,17	-0,22	-0,15	0,49	-0,13	-0,17	0,59	1	0,30	0,16	-0,20	-0,11	-0,15	0,03	0,03	-0,19	-0,06	0,36	-0,09
NO ₂ ⁻	-0,09	-0,17	0,35	0,46	0,31	0,03	0,07	-0,11	0,17	0,30	1	-0,37	0,11	-0,23	-0,01	-0,39	0,06	-0,07	-0,07	0,21	-0,10
NH ₄ ⁺	-0,18	0,45	-0,14	-0,28	-0,16	-0,10	-0,26	0,36	0,23	0,16	-0,37	1	-0,23	0,34	-0,20	0,58	-0,15	-0,28	0,35	-0,21	0,13
PO ₄ ³⁻	0,40	-0,10	0,37	0,36	0,04	0,14	0,25	0,42	0,06	-0,20	0,11	-0,23	1	0,30	0,37	-0,27	0,24	0,26	0,51	-0,21	-0,07
Si	0,08	0,53	-0,04	-0,01	-0,16	0,10	0,10	0,55	-0,24	-0,11	-0,23	0,34	0,30	1	-0,16	0,24	-0,27	-0,14	0,49	-0,31	0,01
Mn	0,42	-0,43	0,15	-0,01	-0,19	-0,05	-0,06	-0,17	0,48	-0,15	-0,01	-0,20	0,37	-0,16	1	-0,21	0,87	0,60	0,11	-0,31	-0,06
Fe	-0,11	0,39	-0,17	-0,29	-0,14	0,10	-0,03	0,24	-0,11	0,03	-0,39	0,58	-0,27	0,24	-0,21	1	-0,26	-0,17	0,15	0,16	0,12
Cu	0,39	-0,50	0,26	0,04	-0,19	0,01	-0,07	-0,20	0,67	0,03	0,06	-0,15	0,24	-0,27	0,87	-0,26	1	0,70	0,03	-0,19	-0,11
Zn	0,32	-0,37	0,07	0,02	-0,15	-0,06	0,04	-0,25	0,20	-0,19	-0,07	-0,28	0,26	-0,14	0,60	-0,17	0,70	1	0,04	-0,23	-0,11
ПО	0,05	0,08	-0,02	0,07	-0,07	-0,02	-0,20	0,46	0,04	-0,06	-0,07	0,35	0,51	0,49	0,11	0,15	0,03	0,04	1	-0,36	0,08
Фенолы	0,00	-0,20	0,29	0,00	0,29	0,38	0,27	-0,17	0,11	0,36	0,21	-0,21	-0,21	-0,31	-0,31	0,16	-0,19	-0,23	-0,36	1	0,07
Н/п	-0,02	-0,14	-0,16	-0,08	-0,11	0,04	-0,16	-0,05	-0,06	-0,09	-0,10	0,13	-0,07	0,01	-0,06	0,12	-0,11	-0,11	0,08	0,07	1

Примечание: М – общая минерализация, ПО – перманганатная окисляемость, БО – бихроматная окисляемость, н/п – нефтепродукты

3.2.3 Гидрохимические особенности рек-водоприемников Васюганской болотной системы

Нами были изучены гидрохимические особенности двух сильно заболоченных рек, Васюган, принимающего сток с олиготрофных и частично с эвтрофных и Тром-Юган – с чисто олиготрофных болот по данным Западно-Сибирского УГМС за период 1985 – 1991 гг. Сопоставительный анализ фоновых характеристик состава речных и болотных вод приведен в табл. 13. Среднемноголетние фоновые концентрации и коэффициенты вариации различных химических веществ в реках Васюган и Тром-Юган представлены в табл. 2 – 3 (Приложение).

Таблица 13. Совмещенные фоновые гидрохимические характеристики для речных и болотных вод Васюганья за период 1985 – 1991 гг.

Характеристика	Васюганское болото (все микрорландшафты)	р. Васюган – с. Средний Васюган	р. Тром-Юган – пос. Ермаково	Васюганское болото (олиготрофные микрорландшафты)
рН	5,2	6,9	6,6	4,3
Цветность, градусы	792	113	159	878
Минерализация, мг/л	290	172	60	23
Азот нитратный, мгN/л	1,9	0,2	0,04	1,5
Азот нитритный, мгN/л	0,1	0,005	0,001	0,0
Азот аммонийный, мгN/л	10,8	-	-	4,7
Фосфор фосфатов, мгP/л	2,8	0,07	0,03	0,2
Кремний, мгSi/л	5,9	3	5,8	3,8
Марганец, мкгMn/л	180,7	-	-	126,0
Железо общее, мгFe/л	9,7	0,8	1,9	2,1
Медь, мкгCu/л	4,4	-	-	4,1
Цинк, мкгZn/л	45,4	-	-	57,9
Свинец, мкгPb/л	1,5	-	-	1,6
Перманганатная окисляемость, мгO/л	78,3	30	12	92,7
Бихроматная окисляемость, мгO/л	252	-	-	178
Фенолы, мг/л	0,007	-	-	0,001
Нефтепродукты, мг/л	0,2	-	-	0,2

На основе полученных среднемноголетних гидрохимических данных, можно сделать вывод о степени влияния Васюганских болот на исследуемые водотоки.

Для рек, являющихся водоприемниками олиготрофных и частично эвтрофных микрорландшафтов, это проявляется в обогащении вод органическим веществом

гумусового происхождения (30 мгО/л), повышение минерализации до средней (170 мг/л), увеличении концентраций общего железа (0,8 мгFe/л), нейтральной реакцией среды (6,9 ед. рН).

Реки, протекающие в северной территории Васюганских болот, р.Тром-Юган, испытывают влияние олиготрофных болот на гидрохимический состав. Среди характерных признаков таких рек можно отметить малую минерализацию (60 мг/л), указывающую на атмосферное питание болот, высокую цветность (160 градусов), а также слабокислую реакцию среды (рН = 6,6), что уже свидетельствует об усиленной аэрации речных вод. Кроме этого, для таких водотоков свойственно обогащение вод железом (1,9 мгFe/л) и кремнием, что так же связано влиянием стока с болот.

3.2.4. Оценка среднегодовых значений стока растворенных веществ рек Васюгана и Тром-Югана

В основе анализа среднегодовых значений гидрохимического стока положены фоновые значения химических веществ и среднегодовое расходу воды за период 1985 – 1991 гг. Оценка стока проводилась на примере рек Васюган и Тром-Юган, как наиболее характерных водоприемников эвтрофных и олиготрофных микроландшафтов, а также имеющимся по ним репрезентативным данных. Были установлены модули ионного стока, стока органических и биогенных веществ, значения которых представлены в табл. 14.

Таблица 14. Модули стока растворенных веществ в р. Васюган – с. Средний Васюган и Тром-Юган – пос. Ермаково за период 1985 – 1991 гг. (Васюганское болото)

Река – пункт	Среднегодовой модуль речного стока, л/км ²	Модуль ионного стока	Модуль стока органического вещества	Модуль биогенных веществ				
		$P_{И} \frac{Т}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{С} \frac{Т}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{NH_4} \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{N} \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{PO_4} \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Fe} \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Si} \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$
р. Васюган – с. Средний Васюган	50	26	4,5	223	253	10,4	119	445
р. Тром-Юган – пос. Ермаково	10	18	10,2	277	289	8,7	255	1689

Примечание: модуль стока минерального азота определен как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота; модуль стока минерального фосфора-по фоновому содержанию фосфора фосфатов, модуль стока органического углерода – по содержанию ПО

Анализ стока растворенных химических веществ позволяет заключить, что значения модулей ионного стока и органического вещества в водах рек Васюган и Тром-Юган значительно отличаются. В р. Васюган, принимающей воды различных микроландшафтов, в том числе и эвтрофных, модуль ионного стока (26 т/км^2) в 2 раза выше по сравнению с р. Тром-Юган (18 т/км^2), принимающей сток с олиготрофных участков болота. Сопоставление полученных значений модуля органического вещества с литературными указывает на соответствие региональному фону (Никаноров, 2011) для р. Васюган ($4,5 \text{ т/км}^2$) и превышение его в 3 для р. Тром-Юган ($10,2 \text{ т/км}^2$). Модули стока биогенных веществ колеблются в близких пределах при максимальных значениях выноса аммонийного азота. Максимальный вынос железа и кремния характерен для р. Тром-Юган. При этом максимальный вынос кремния в бассейне р. Тром-Юган, очевидно, связан с активным выщелачиванием Si из верховых торфов. Несмотря на то, что модули стока минерального азота и фосфора для р. Тром-Юган выше, чем в р. Васюган, концентрации данных компонентов выше в р. Васюган почти в 2 раза.

Сток со всей площади водосбора для исследуемых рек приведен в табл. 15, который свидетельствует о максимальном выносе минеральных и биогенных веществ в р. Васюган, что обусловлено максимальной площадью ее водосбора.

Таблица 15. Сток растворенных веществ в р. Васюган – с. Средний Васюган и Тром-Юган – пос. Ермаково за период 1985 – 1991 гг. (Васюганское болото)

Река - пункт	Среднегодовой модуль речного стока, л/км ²	$P_{\text{И}}$, т	$P_{\text{С}}$, т	P_{NH_4} , кг	P_{N} , кг	P_{PO_4} , кг	P_{Fe} , кг	P_{Si} , кг
р. Васюган – с. Средний Васюган	50	$8,1 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^6$	$8,0 \cdot 10^6$	$3,3 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^6$	$14 \cdot 10^6$
р. Тром-Юган – пос. Ермаково	10	$2,4 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^7$

3.2.5. Оценка среднемноголетних значений сезонного стока растворенных веществ

Оценка сезонной изменчивости гидрохимического стока проводилась по данным среднемноголетних средних сезонных концентраций химических веществ и среднемноголетних среднесезонных расходов воды (табл. 4 – 5 (Приложение)). Расчет проводился для рек, принимающих воды с разных типов болот – р. Васюган и р. Тром-Юган за период 1985 – 1991 гг. Пространственное распределение характеристик стока представлено в табл. 17.

Таблица 17. Процентное соотношение стока растворенных веществ в р. Васюган – с. Средний Васюган и Тром-Юган – пос. Ермаково за период 1985 – 1991 гг. (Васюганское болото)

Река	Сезон	$P_{И}, \%$	$P_{С}, \%$	$P_{N}, \%$	$P_{PO_4}, \%$	$P_{Fe}, \%$	$P_{Si}, \%$
Васюган – с. Средний Васюган	Зима	28	7	12	-	13	16
	Весна	44	77	72	-	71	60
	Лето	28	15	16	-	16	24
	Осень	-	-	-	-	-	-
Тром-Юган – пос. Ермаково	Зима	22	9	-	12	18	18
	Весна	48	62	-	61	53	57
	Лето	30	29	-	27	29	25
	Осень	-	-	-	-	-	-

Сопоставление данных сезонной изменчивости стока растворенных веществ показывает, что происходит увеличение ионного стока в 1,5 раза для р. Васюган по сравнению с р. Тром-Юган (рис. 10).

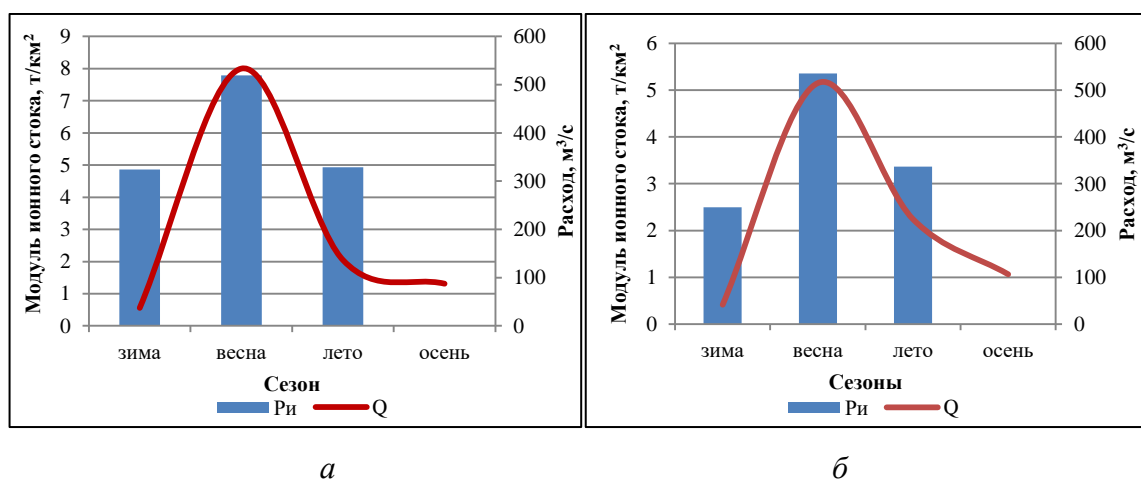
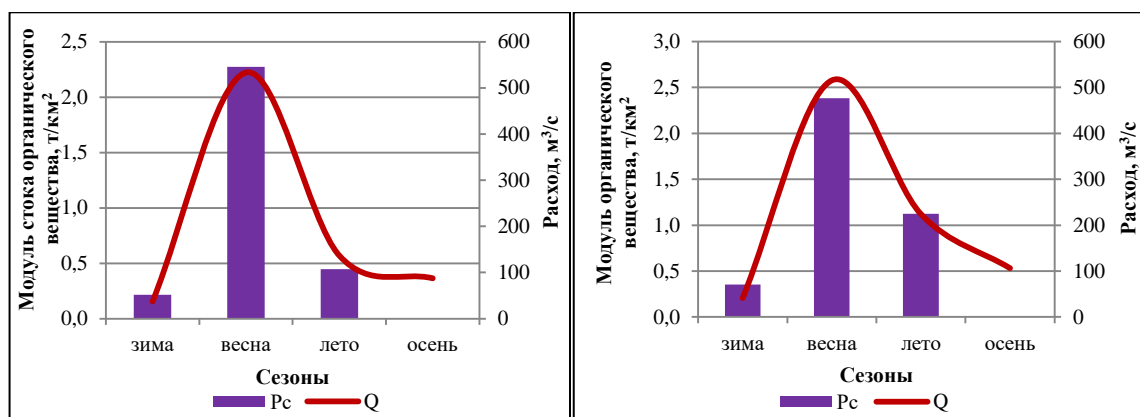


Рис. 10. Совмещенные графики сезонного распределения модуля ионного стока и среднесезонных расходов воды за период 1985 – 1991 гг. для р. Васюган (а) и Тром-Юган

(б)

Распределение стока органического вещества по сезонам для исследуемых рек, являющихся водоприемниками различных типов болот, носит весьма интересный характер (рис. 10). Для исследуемых рек характерно небольшое различие в распределении $P_{И}$ в году: весенний максимум модуля стока (44 – 48%), обусловленный большими расходами воды, снижающиеся значения в меженные периоды (22 – 30%). Близкие значения $P_{И}$ за весенний и летний промежутки объясняется накоплением вод в период половодья ввиду неспособности быстро отводить талые воды и постепенной отдачей ее летом. При этом максимальные значения модуля ионного стока для р. Васюган достигают $7,8 \text{ т/км}^2$, для р. Тром-Юган – $5,4 \text{ т/км}^2$.

Ход модулей органического вещества значительно отличается от модуля ионного стока и имеет явно выраженный характер (рис. 11). В периоды максимальных расходов воды наблюдается резкое увеличение P_C (62 – 77%), а в летнюю и зимнюю межени, наоборот – снижение (7 – 9%). Увеличение стока органического вещества при переходе от зимней межени к весеннему половодью составляет в 6 раз для р. Тром-Юган и в 10 раз – для р. Васюган. При этом, установлено превышение объема стока для зимней и летней межени в р. Тром-Юган в 2 раза в сравнении с р. Васюган. Тем не менее максимальные значения модуля органического вещества отмечается в период весеннего половодья ($P_C = 2,3 - 2,4 \frac{\text{т}}{\text{км}^2}$).



а

б

Рис. 11. Совмещенные графики сезонного распределения модуля стока органического вещества и среднесезонных расходов воды за период 1985 – 1991 гг. для р. Васюган (а) и Тром-Юган (б)

Ход кривой распределения модулей минерального азота отличается от распределения модулей ионного стока (рис. 12).

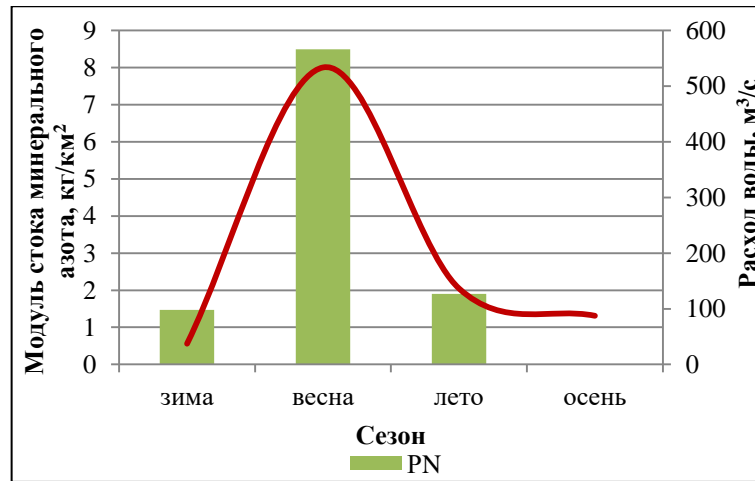


Рис. 12. Совмещенный график сезонного распределения модуля стока минерального азота и среднесезонных расходов воды за период 1985 – 1991 гг. для р. Васюган

Согласно представленным графикам, установлены следующие особенности сезонного распределения модулей стока минерального азота: основной объем стока приходится на весеннее половодье ($P_N = 8,5 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$), когда расходы воды достигают своего максимума. В периоды малой воды, в зимнюю и летнюю межени, наблюдаются минимальные значения данного показателя ($P_N = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$), при этом в теплый период модули минерального азота выше зимних.

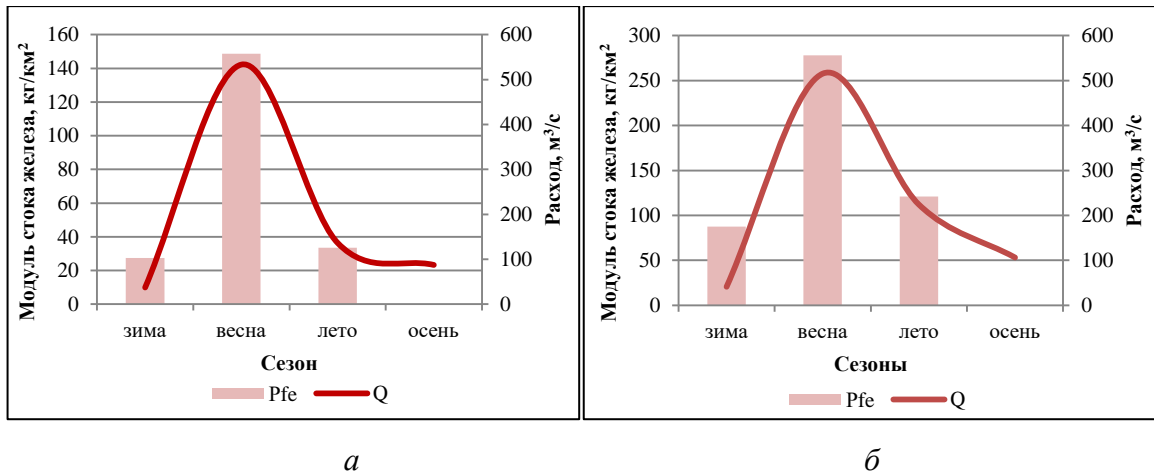


Рис. 13. Совмещенный график сезонного распределения модуля стока железа среднесезонных расходов воды за период 1985 – 1991 гг. для р. Васюган (а) и р. Тром-Юган (б)

Для внутригодового распределения модулей стока общего железа характерно следующее распределение показателя P_{Fe} в течение года (рис. 13а, 13б): в период

весеннего половодья модули стока увеличиваются прямо пропорционально увеличению расходов (53 – 71%) и обратно концентрациям железа; в меженные периоды, наоборот (13 – 18%). Обобщая полученные данные, можно заключить, что максимальный объем стока железа в р. Тром-Юган (278 кг/км^2) в 2 раза превышает этот же показатель в р. Васюган (149 кг/км^2). Для р. Васюган при переходе от зимней межени к весне отмечается пятикратное увеличение показателя P_{Fe} , в то время, как для р. Тром-Юган – в 3 раза.

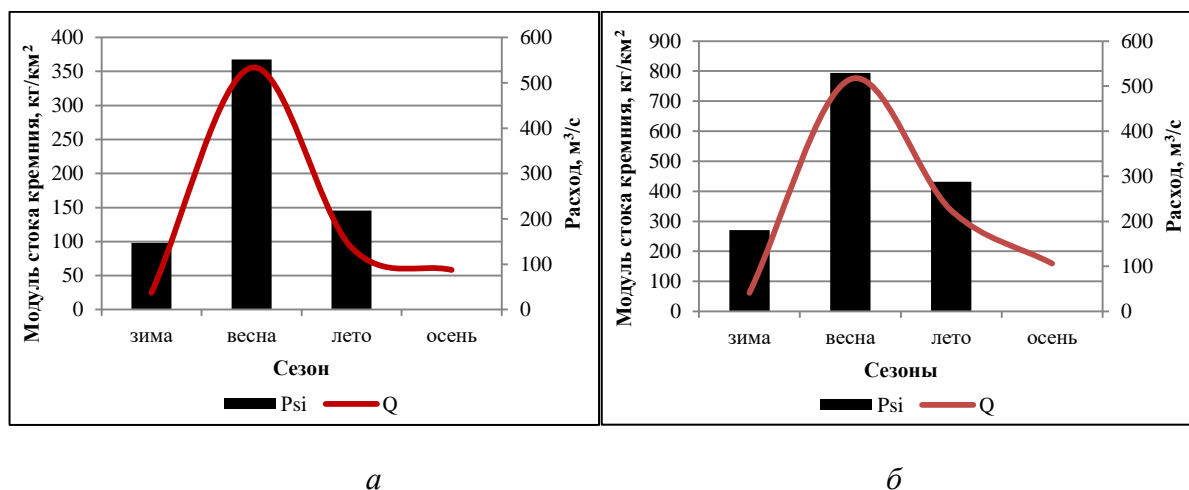


Рис. 14. Совмещенные графики сезонного распределения модуля стока кремния среднесезонных расходов воды за период 1985 – 1991 гг. для р. Васюган (а) и р. Тром-Юган (б)

Похожая закономерность отмечается для сезонной динамики стока кремния (рис. 14): двукратное увеличение объемов стока Si в периоды половодья в р. Тром-Юган (794 кг/км^2) по сравнению с р. Васюган (367 кг/км^2).

Таким образом, особенности режима внутригодового распределения модулей гидрохимического стока различных веществ определяются, с одной стороны, внутригодовым распределением стока воды, а, с другой – средними за сезон концентрациями химических веществ. При этом максимум модулей стока выпадает на период весеннего половодья.

Васюганский болотный массив включает в себя различные типы болот, что находит отражение в химическом составе болотных вод и рек, принимающих болотный сток. На основе статистической обработки данных, были установлены фоновые гидрохимические характеристики болотных вод различных типов микроландшафтов. Так, болотные воды олиготрофных болот, расположенных на севере региона, относятся к слабокислым ($\text{pH} = 4,3$), ультрапресным (23 мг/л), характеризующимися высокими значениями цветности (878 градусов), объясняющимися застойным режимом

многочисленным грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексов, и органических веществ ($BO = 178 \text{ мгО/л}$), а также высокими концентрациями железа ($2,05 \text{ мг/л}$) и биогенных элементов – аммонийного азота ($4,7 \text{ мг/л}$). Отмечается превышение ПДК по нефтепродуктам (42 ПДК) и фенолам, связанное с активной нефтедобычей в бассейнах рек севера Васюганья. Выявлены основные признаки влияния болот на реки, принимающие сток с чисто олиготрофных болот. Река Тром-Юган отличается менее кислой реакцией среды ($pH = 6,6$), близкой к нейтральной, малой минерализацией (до 60 мг/л), высокой цветностью (160 градусов) и малым содержанием органических веществ ($BO = 12 \text{ мгО/л}$).

Южная часть Васюганских болот включает в себя не только верховые, но и низинные типы болот, поэтому химический состав болотных и речных вод данного района существенно отличается от северной части Васюганья, где распространены преимущественно олиготрофные микроландшафты. Болотные воды здесь характеризуются снижением кислотности ($pH = 6,2$), высокой минерализацией (626 мг/л), свидетельствующей о существенной доле грунтового питания, повышенной цветностью (792 градуса) и высоким содержанием органических веществ ($BO = 300 \text{ мгО/л}$) и железа ($9,7 \text{ мг/л}$). Река Васюган, принимающая сток с олиготрофных и частично эвтрофных микроландшафтов, характеризуется нейтральной реакцией среды ($pH = 6,9$), среднеминерализованными водами (до 180 мг/л) с низкой цветностью (30 мг/л), а также выравниванием концентраций по многим компонентам.

Были установлены основные различия в формировании ионного состава болотных вод различных микроландшафтов. Корреляционный анализ макрокомпонентов для всех типов болот Васюганской провинции показал наибольшую зависимость между минерализацией и гидрокарбонатными и кальциевыми ионами ($R = +1,00$; $R = +0,89$), в то время как отдельно для олиготрофных микроландшафтов эта связь слабее ($R = +0,72$; $R = +0,69$), для сульфатов такая связь отсутствует. Примечательно, что связь между минерализацией и сульфат-ионами для всех типов микроландшафтов отсутствует ($R = +0,36$).

На основе среднесуточных фоновых гидрохимических характеристик и среднесуточных расходов воды, были рассчитаны модули стока различных веществ. Обобщая полученные значения среднесуточных характеристик модулей стока, можно сделать заключение, что показатель $P_{ид}$ для р. Васюган (25 т/км^2), принимающей воды олиготрофных и эвтрофных микроландшафтов в 1,5 раза превышает этот же показатель для р. Тром-Юган ($17,5 \text{ т/км}^2$), являющегося водоприемником исключительно олиготрофных болот. Значения модулей стока органического вещества показали

превышение регионального фона в 3 раза для рек, принимающих сток с верховых болот (р. Тром-Юган – 10,2 т/км²) по сравнению с реками-водоприемниками смешанных типов микроландшафтов (р. Васюган – 3,4 т/км²). Были отмечены близкие значения модулей биогенных веществ для обеих рек: такие небольшие различия объясняются большой площадью р. Васюган, которая больше площади водосбора р. Тром-Юган в 2,5 раза.

Внутригодовое распределение стока рек-водоприемников имеет ряд особенностей. Отмечается превышение объемов выносимых веществ между исследуемыми реками: максимальный значения модуля ионного стока весной для р. Васюган достигают 7,8 т/км², что в 1,5 раза превышает значения данного показателя для р. Тром-Юган – 5,4 т/км². Пространственное распределение модулей стока органического вещества в р. Тром-Юган превышает летние и зимние значения в р. Васюган в 2 раза, а в периоды максимальных расходов этих различий не наблюдается (2,3 т/км²). В целом, среднесезонное распределение модулей растворенных гидрохимических веществ характеризуется тем, что основная их часть приходится на период весеннего половодья; минимальные значения зафиксированы – в летнюю и зимнюю межень.

3.3. Гидрохимический сток рек-водоприемников в нарушенных условиях на примере

Ларьянского болотного массива

3.3.1. Физико-географическое описание

Ларьянский болотный массив, является типичным представителем мелиорированного олиготрофного болота, расположенного в Тихвинском районе Ленинградской области на водоразделе рек р. Воложбы на юге и р. Тихвинки – на севере – притоков реки Сясь, принадлежащей бассейну в Ладожского озера. Площадь всего массива составляет 118 км². В эту площадь входит значительное количество суходольных островов, покрытых лесом, площадь которых 12,2 км² (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Гидрометеорологические наблюдения на болоте проводились силами Ларьянской болотной станции с 1947 года, в 2011 году станция была закрыта.

До мелиорации и осушения с последующей торфоразработкой Ларьянское болото представляло собой сложную болотную систему, образовавшуюся путем слияния в одно целое 12-ти верховых и переходных массивов, находящихся на различных стадиях развития. Для этой системы характерна сложная конфигурация, изобилие озер и озерков, а также весьма сложное распределение направлений стекания вод в пределах территории болотной системы (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Активная мелиорация болота началась с 1962 года, когда на полях восточной осушенной части начали вести торфодобычу; с 1964 г. добыча гидроторфа была прекращена и торф стали добывать только фрезерным способом; с 1970 г были начаты работы по осушению участков болота в северной части водосбора руч. Дымского и к северу от оз. Зарубино (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Работы по торфоразработкам на территории Ларьянского болотного массива накладывает особый отпечаток на состояние поверхностных вод. Они оказывают влияние на характер стока и размеры площадей водосборов, которые могут значительно меняться. По полям прокладываются автомобильные дороги и временные пути ж/д. Наличие караванов торфа, огромной сети канав, открытых безлесных полей изменяют характер снежного покрова. Все это сильно отражается на гидрологическом режиме и вызывает необходимость учитывать это при пользовании материалами станции (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

В настоящее время около 75 % площади болота расчищено и осушено, однако под разработки торфа занято примерно 3/4 этой территории. Эти поля используются для добычи торфа фрезерным способом. Остальная часть осушенного болота пока не разрабатывается, т.к. с момента осушения о сводки леса прошло большое количество времени, то за это время на островах и по канавам вырос молодой лес (сосна, береза, ольха, аль), кустарник (малина, крушина), а бывшие участки болота заросли растительностью не свойственной микроландштам верхового болота (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Участки естественного болота сохранились на юго-востоке и на западе массива (рис. 15), среди которых преобладающим микроландштафом является грядово-мочажинный комплекс, местами облесенный, покрытый мхом и сильно обводненный. На окраинах болота встречаются сфагново-пушицевые и сфагново-кустарничково-пушицевые микроландштафы, облесенные сосной. Сфагново-кустарничково-сосновые микроландштафы располагаются на хорошо дренированных склонах и возле водоприемников и занимают краевые участки болотной системы (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Сфагновик кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной встречается на окраине болотной системы и между минеральными островками. Древесная растительность редка, но единично попадающиеся прямоствольные сушины свидетельствуют о том, что в раньше эти части системы были облесены. На крайнем юго-западе системы, на границе с суходолом, преобладают сильно обводненные мохово-осоковые микроландштафы (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Внутренняя гидрографическая сеть Ларьянского болота хорошо развита и представлена целым рядом озер (Материалы наблюдений, 1959 – 2011): Дымское (1,0 км²), Ларьянское (0,6 км²), Красное (0,5 км²), Черкесское (0,1 км²), Зарубино (0,1 км²), Избищенское (0,025 км²).

Типологическая карта-схема с расположением установок на Ларьянском болоте



Рис. 15. Типологическая карта-схема Ларьянского болота

Из болота вытекает много ручьев, которые служат путями стока болотных вод. На севере – ручья Графский, Березовый, Крутой, река Черная Дымка. В южной части формируются ручья Ларьянский, Крестецкий, Дымский, Воложбинский и другие, а из западной части болота вытекают ручьи Каменок и Вязкий (Материалы наблюдений, 1959 – 2011).

Важнейшей рекой-водоприемником стока с Ларьянского болотного массива является р. Воложба, принимающая воды с мелиорированной части болота через ручей Воложбинский и магистральный канал № 3 (рис. 15). Краткая гидрографическая характеристика водотоков представлена в табл. 18.

Таблица 18. Гидрографическая характеристика водотоков Ларьянской болотной системы

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Среднемноголетний расход воды л/с
р. Воложба – д. Воложба	1 330	11 200
Березовский гидроствор	25	249,5
Дымский гидроствор	3,73	45,6
Воложбинский гидроствор	10,74	100,8
Ручей Каменок	5,82	60,5

Высокая степень заболоченности водосборной территории р. Воложбы (54%) и наличие данных режимных гидрологических и гидрохимических данных позволило оценить сток растворенных веществ с исследуемого болота.

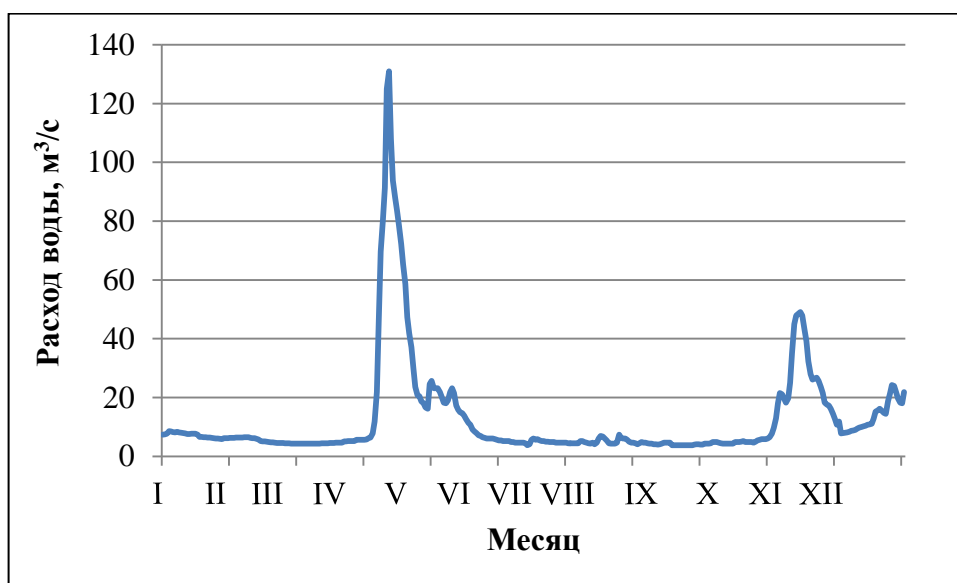


Рис.16. Гидрограф р. Воложба – д. Воложба за год средней водности (2013 г.)

Анализ гидрографов р. Воложбы за годы разной водности, один из примеров которых приведен на рис. 16, позволяет сделать следующее заключение о характере водного режима исследуемой реки. Для р. Воложбы характерно смешанное питание; преобладает снеговое питание (менее 50%) и примерно в равной доле участвуют талые, дождевые и грунтовые воды. Поэтому водный режим характеризуется высоким весенним половодьем, формирующимся за счет таяния снега, летней и зимней межени осенним паводком, образующимся за счет дождей и достигающим в редких случаях размеров весеннего половодья. Максимальный сток на реках наблюдается весной, т. е. в периоды наиболее интенсивного поступления талых вод, причем максимумы весенних половодий являются довольно высокими (Ресурсы поверхностных вод, 1972).

3.3.2. Гидрохимическая характеристика болотных и речных вод Ларьянского массива

Несмотря на то, что мелиоративные мероприятия на Ларьянском болоте начались в конце 40-х годов 20-го века, наблюдения за гидрохимическими показателями болотных вод начались только сначала 60-х гг., поэтому оценить изменения в химическом составе различных микроландшафтов за те годы не представляется возможным. Однако, имеющиеся данные наблюдения за гидрохимическими характеристиками на сохранившемся естественном участке на востоке болота (скв. 1602 – грядово-мочажинный комплекс), дают представления о фоновых содержаниях основных компонентов химического состава болотных вод этого массива до осушения.

В качестве исходных массивов использовались обобщенные данные Северо-Западного УГМС за период 1987 – 1988 гг. для естественного участка (скв. 1602), за 2007 – 2010 гг. – для осушенного (скв. 1205) и за 1958 – 1988 гг. и 2007 – 2010 гг. – для участка, затронутого торфоразработками. В качестве основного водотока для характеристики стока с естественного участка болота является ручей Каменок, протекающий в западной части массива; для характеристики освоенного под торфоразработку участка – Воложбинский гидроствор, принимающий воды со всех мелиоративных каналов центральной части массива; Основной рекой, принимающей сток болотных вод Ларьянской системы является р. Воложба. Установленные фоновые содержания основных компонентов химического состава болотных и речных вод различных участков Ларьянского массива приведены в табл. 19 – 20.

Таблица 19. Фоновые гидрохимические характеристики различных участков Ларьянского болота за разные периоды наблюдений

Характеристика	Неосушенный участок (скв. 1602) 2007 -2010 гг.			Осушенный участок (скв. 1205) 1958 – 1988 гг.			Воложбинский гидроствор 1958 – 1988 гг.			Воложбинский гидроствор 2007 – 2010 гг.		
	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>
pH	16	0,12	4,4 ± 0,2	7	0,05	4,7 ± 4,8	11	0,21	5,5 ± 0,6	16	0,16	5,5 ± 0,4
Цветность, градусы	22	0,34	458 ± 58	7	0,87	200 ± 328	33	0,53	430 ± 67	22	38	826 ± 114
Минерализация, мг/л	22	0,97	54 ± 19	12	0,45	15 ± 18	45	0,87	30 ± 7	22	0,96	111 ± 39
Ca²⁺	22	0,88	3,0 ± 1,0	12	0,68	2,6 ± 3,5	41	0,61	8,3 ± 1,3	22	0,39	8,2 ± 1,2
Mg²⁺	22	0,94	0,7 ± 0,3	12	0,90	1,9 ± 2,8	38	0,86	2,9 ± 0,7	22	0,65	2,5 ± 0,6
Na⁺ + K⁺	22	0,06	1,9 ± 0,04	12	0,82	2,4 ± 3,5	38	1,58	1,7 ± 0,7	22	0,88	3,3 ± 1,1
HCO₃⁻	22	1,15	12,8 ± 5,4	-	-	-	38	1,59	14,5 ± 6,3	22	1,52	28,5 ± 15,9
Cl⁻	11	1,17	3,0 ± 1,9	12	1,03	3,9 ± 5,9	37	0,82	3,3 ± 0,8	11	1,01	5,1 ± 2,8
SO₄²⁻	11	0,85	68,0 ± 31,2	12	0,72	5,1 ± 7,0	36	0,64	4,9 ± 0,9	11	0,92	131,8 ± 65,7
Азот аммонийный, мгN/л	20	0,86	0,03 ± 0,01	6	0,79	1,3 ± 2,1	10	3,30	0,6 ± 0,6	20	0,84	0,12 ± 0,04
Азот нитратный, мгN/л	21	1,32	0,15 ± 0,08	6	1,47	0,001 ± 0,001	25	1,39	0,9 ± 0,4	21	0,98	0,37 ± 0,14
Азот нитритный, мгN/л	11	0,47	0,006 ± 0,001	8	0,00	0,01 ± 0,03	29	2,50	0,03 ± 0,03	11	1,15	0,01 ± 0,008
Фосфор фосфатов, мгP/л	21	0,72	0,01 ± 0,003	5	1,30	0,01 ± 0,02	19	1,14	0,1 ± 0,04	21	2,96	0,13 ± 0,14
Кремний, мгSi/л	22	0,65	0,7 ± 0,2	-	-	-	13	0,65	4,0 ± 1,3	22	0,27	1,7 ± 0,2
Железо общее, мкгFe/л	11	1,23	1,1 ± 0,7	6	0,72	0,4 ± 0,6	26	0,87	4,2 ± 1,2	11	1,08	2,6 ± 1,5
Бихроматная окисляемость, мгО/л	21	0,34	77,7 ± 9,8	4	0,37	125,2 ± 148,7	33	0,42	120,7 ± 14,7	21	0,30	142,7 ± 16,4

Примечание: *C_v* – коэффициент вариации; *C_ф* – фоновое содержание компонента, *N* – число проб

Из анализа полученных данных видно, что пределы изменения основных химических компонентов болотных вод неосушенного участка соответствуют естественному гидрохимическому фону других олиготрофных болот Северо-Запада. Это, главным образом, низко минерализованные сульфатно-кальциевые воды (54 мг/л), с высокой цветностью (458 градусов) и содержанием органического вещества (77,7 мгО/л), кислой реакцией среды (4,4 ед. рН) и низким уровнем содержания минеральных форм азота (0,006 – 0,2 мг/л).

На химический состав осушенных или освоенных участков болот влияют как длительность таких мероприятий, так и виды мелиоративных воздействий (осушение, торфоразработки, сельскохозяйственное использование). Так, гидрохимические наблюдения, осуществлявшиеся в сфагново-кустарничково-пушицевом микроландшафте (скв. 1205), расположенном на юго-восточной окраине болота, показывают, что болотные воды осушенного участка сохраняли все признаки естественного гидрохимического фона: кислая реакция среды (рН = 4,7), ультрамалая минерализация (15 мг/л), повышенная цветность (200 градусов) и бихроматная окисляемость (125,2 мгО/л). Концентрации нитратного и нитритного азота и фосфатов варьируют на уровне следовых содержаний (0,001 – 0,01 мг/л).

Для мелиорированной территории болота, освоенной под торфоразработками с внесением минеральных удобрений (Воложбинский гидроствор) установлены значительные изменения в биогенном составе вод: средние содержания нитратного, нитритного азотов и фосфора фосфатов возросли в 5 – 10 раз, что связано с активным внесением минеральных удобрений на полях торфоразработок. Интересно отметить временные изменения химического состава болотных вод в многолетнем плане. Как видно из табл. 19 за период активного хозяйственного освоения (1958 – 1988 гг.) по сравнению с современным периодом (2007 – 2010 гг.). На мелиорированной территории значительно возросли средние значения общей минерализации до 111 мг/л на фоне резкого увеличения содержания сульфатов (до 132 мг/л) и гидрокарбонатов. При этом в современный период для освоенных под торфоразработки участков, наблюдается снижение концентраций биогенных веществ: нитратного и нитритного азота, что, очевидно, связано с окончанием внесения азотных и фосфорных удобрений в 1990-ые годы.

Для выявления влияния болота на химический состав речных вод в естественных и нарушенных условиях были установлены среднемноголетние фоновые гидрохимические характеристики внешних водоприемников Ларьянского болотного массива (р. Воложба и ручей Каменок) за период активной торфодобычи с внесением удобрений (1983 – 1988 гг.)

и за современный период прекращения мелиорации (2007 – 2010 гг.). В наименьшей степени выражены отличия в химическом составе болотных и речных воды (р. Каменок), принимающих сток с естественного болота: воды р. Каменок сохраняют кислую реакцию среды ($\text{pH} = 4,1$), ультрамалую минерализацию (6,7 мг/л) и повышенные содержания органических веществ – 48,6 мгО/л (табл. 20).

Так, воды р. Воложбы, принимающей сток с мелиорированной части болота, за период интенсивного хозяйственного освоения болота характеризовались слабокислой реакцией среды ($\text{pH} = 5,3$), малой минерализацией (78 мг/л), высокой цветностью (220 градусов) на фоне некоторого снижения содержания органических веществ (ХПК = 27,6 мгО/л), повышенными концентрациями, в несколько раз превышающих ПДК_{р/х} (Предельно-допустимые концентрации, 1995), общего железа (14 ПДК_{р/х}) и аммонийного азота (3 ПДК_{р/х}). В современный период воды р. Воложбы претерпели целый ряд изменений: снижению кислотности до уровня нейтральной реакции ($\text{pH} = 7,2$), увеличению общей минерализации (155 мг/л), переформированию состава речных вод с сульфатно-кальциевого на гидрокарбонатно-кальциевый, а также к снижению концентраций биогенных веществ, что приближает их к региональному фону поверхностных рек Северо-Запада (Никаноров, 2011).

Таблица 20. Совмещенные фоновые гидрохимические характеристики для речных вод Ларьянского болотного массива за старый и современный периоды

Характеристика	р. Воложба (1987 – 1988 гг.)			р. Воложба (2007 – 2010 гг.)			Ручей Каменок (1983 – 1988 гг.)		
	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>
pH	5	0,69	5,3 ± 0,4	15	0,12	7,2 ± 0,4	9	0,21	4,1 ± 0,5
Цветность, градусы	5	0,80	220 ± 26	21	0,54	237 ± 48	6	0,13	158 ± 16
Минерализация, мг/л	7	0,68	78 ± 32,2	21	0,54	155 ± 31	2	0,17	6,7 ± 2,3
<i>Ca</i>²⁺	4	1,19	13 ± 5,3	21	0,53	18,9 ± 3,8	6	0,57	1,0 ± 0,4
<i>Mg</i>²⁺	4	1,25	5 ± 2,6	21	0,67	8,4 ± 2,1	6	1,41	0,1 ± 0,1
<i>Na</i>⁺ + <i>K</i>⁺	4	1,23	3 ± 1,9	21	0,76	12,5 ± 3,6	6	0,48	1,5 ± 0,6
<i>HCO</i>₃⁻	7	0,62	28 ± 19,8	21	0,71	94,7 ± 25,2	-	-	-
<i>Cl</i>⁻	4	0,58	7,3 ± 4,1	10	1,01	6,5 ± 3,7	2	0,31	2,3 ± 1,5
<i>SO</i>₄²⁻	4	0,71	19,4 ± 7,8	10	0,59	36,9 ± 12,5	2	0,69	2,0 ± 2,8
Азот аммонийный, мгN/л	6	1,43	1 ± 0,01	19	1,23	0,04 ± 0,02	6	1,95	0,3 ± 0,4
Азот нитратный, мгN/л	6	1,20	0,8 ± 0,2	20	0,75	0,3 ± 0,07	6	1,16	0,4 ± 0,4
Азот нитритный, мгN/л	6	1,78	0,08 ± 0,01	10	1,42	0,02 ± 0,01	-	-	-
Фосфор фосфатов, мгP/л	4	1,42	0,01 ± 0,008	20	0,63	0,01 ± 0,003	4	1,16	0,01 ± 0,006
Кремний, мгSi/л	6	0,71	1,7 ± 0,7	21	0,28	1,5 ± 0,2	6	0,17	1,2 ± 0,2
Железо общее, мкгFe/л	4	0,57	5,3 ± 2,4	10	0,77	0,5 ± 0,2	-	-	-
Бихроматная окисляемость, мгO/л	5	0,79	27,6 ± 8,7	20	0,57	44,1 ± 9,7	5	0,34	48,6 ± 14,9

Примечание: *C_v* – коэффициент вариации; *C_ф* – фоновое содержание компонента, *N* – число проб

3.3.3. Гидрохимические особенности болотных и речных вод

Для определения взаимосвязей между различными компонентами химического состава болотных и речных вод Ларьянского массива был проведен корреляционный анализ (табл. 21 – 22 и в табл. 6 – 7 (Приложение)).

Несмотря на близкие значения рН, коэффициенты корреляции между рН и общей минерализацией сильно отличаются: в болотных водах: отсутствие или слабая связь M -рН в болотных водах и тесная связь $R = +0,84$, в речных водах.. Существуют различия в связях между главными ионами и минерализацией. Так для болотных вод наиболее тесная зависимость наблюдается между минерализацией, сульфат-ионом ($R = +0,95$) и натрием ($R = +0,59$). Для речных такая связь отсутствует ($R = (-0,04) - (+0,16)$) при наличии близкой связи минерализации с гидрокарбонатами ($R = +0,96$) и ионами магния ($R = (+0,75) - (+0,83)$), натрия ($R = +0,82$) и кальция ($R = +0,81$). Это говорит о том, что формирование химического состава речных вод значительно отличается от болотных, когда в присутствии активной аэрации речных вод происходят интенсивные процессы окисления и переформирование ионного состава на гидрокарбонатно-магниевый (натриевый). Однако имеются некоторые исключения: в Вололожбинском гидростворе, принимающем болотные воды из магистральных каналов центральной части массива, наиболее сильно затронутой торфоразработками, наибольшая зависимость наблюдается между гидрокарбонатами ($R = +0,96$) и кальцием ($R = +0,75$). Примечательно и то, что за период активного хозяйственного освоения для р. Воложбы установлены тесные связи между отдельными ионами – натрием, кальцием и магнием ($R = +0,99$), а также между рН и кальцием, магнием и натрием ($R = (+0,92) - (-0,95)$). За современный период такие связи либо отсутствуют ($R = +0,32$), либо коэффициенты корреляции между компонентами значительно ниже ($R = (+0,64) - (+0,82)$).

Таблица.21. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации болотных вод Ларьянского болотного массива (скв. 1602; N = 297) за период 2007 – 2010 гг.

Компонент	pH	Цветность	M	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Fe	БО
pH	1	-0,33	0,28	-0,86	-0,75	0,56	-0,42	0,30	0,43	-0,46	0,48	-0,33	-0,13	-0,49	0,35	0,26
Цветность	-0,33	1	0,31	0,29	0,46	-0,27	0,03	-0,25	0,29	0,09	-0,15	0,15	-0,31	0,39	0,14	0,22
M	0,28	0,31	1	-0,13	-0,15	0,59	0,08	0,35	0,95	-0,07	0,37	0,11	0,04	-0,16	0,41	0,18
Ca ²⁺	-0,86	0,29	-0,13	1	0,71	-0,46	0,54	-0,25	-0,32	0,70	-0,37	0,36	0,38	0,56	-0,28	-0,07
Mg ²⁺	-0,75	0,46	-0,15	0,71	1	-0,40	0,14	-0,29	-0,22	0,33	-0,36	0,13	0,06	0,35	-0,05	-0,03
Na ⁺ + K ⁺	0,56	-0,27	0,59	-0,46	-0,40	1	-0,27	0,54	0,66	-0,26	0,85	-0,10	0,09	-0,46	0,51	0,17
HCO ₃ ⁻	-0,42	0,03	0,08	0,54	0,14	-0,27	1	-0,15	-0,22	0,59	-0,25	0,26	0,17	0,44	-0,18	-0,05
Cl ⁻	0,30	-0,25	0,35	-0,25	-0,29	0,54	-0,15	1	0,35	-0,16	0,41	0,11	-0,10	-0,30	0,12	0,06
SO ₄ ²⁻	0,43	0,29	0,95	-0,32	-0,22	0,66	-0,22	0,35	1	-0,26	0,43	0,01	-0,02	-0,30	0,46	0,20
NO ₃ ⁻	-0,46	0,09	-0,07	0,70	0,33	-0,26	0,59	-0,16	-0,26	1	-0,20	0,49	0,42	0,29	0,00	0,33
NO ₂ ⁻	0,48	-0,15	0,37	-0,37	-0,36	0,85	-0,25	0,41	0,43	-0,20	1	-0,11	-0,04	-0,30	0,33	0,29
NH ₄ ⁺	-0,33	0,15	0,11	0,36	0,13	-0,10	0,26	0,11	0,01	0,49	-0,11	1	0,19	-0,14	-0,03	0,07
PO ₄ ³⁻	-0,13	-0,31	0,04	0,38	0,06	0,09	0,17	-0,10	-0,02	0,42	-0,04	0,19	1	-0,11	0,08	0,08
Si	-0,49	0,39	-0,16	0,56	0,35	-0,46	0,44	-0,30	-0,30	0,29	-0,30	-0,14	-0,11	1	-0,14	-0,32
Fe	0,35	0,14	0,41	-0,28	-0,05	0,51	-0,18	0,12	0,46	0,00	0,33	-0,03	0,08	-0,14	1	0,12
БО	0,26	0,22	0,18	-0,07	-0,03	0,17	-0,05	0,06	0,20	0,33	0,29	0,07	0,08	-0,32	0,12	1

Примечание: М – общая минерализация, БО – бихроматная окисляемость

Таблица 22. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации речных вод Ларьянского болотного массива (р. Воложба; N = 281) за период 2007 – 2010 гг.

Компонент	pH	Цветность	M	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Fe	БО
pH	1	0,50	0,19	-0,33	-0,29	0,12	0,11	0,34	0,43	0,01	0,27	-0,04	0,01	0,29	0,41	0,06
Цветность	0,50	1	-0,02	-0,34	-0,32	-0,24	0,00	0,05	0,23	0,35	-0,11	-0,25	0,48	0,04	0,09	0,26
M	0,19	-0,02	1	0,64	0,75	0,32	0,96	0,30	0,16	-0,14	-0,11	-0,17	0,19	0,23	0,15	-0,20
Ca ²⁺	-0,33	-0,34	0,64	1	0,82	0,29	0,73	-0,25	-0,49	-0,30	-0,24	-0,01	0,07	-0,02	-0,41	-0,17
Mg ²⁺	-0,29	-0,32	0,75	0,82	1	0,40	0,76	-0,02	-0,25	-0,17	0,04	0,05	0,23	0,21	-0,03	-0,16
Na ⁺ + K ⁺	0,12	-0,24	0,32	0,29	0,40	1	0,27	0,07	-0,28	-0,02	0,54	0,64	0,38	0,23	0,07	-0,47
HCO ₃ ⁻	0,11	0,00	0,96	0,73	0,76	0,27	1	0,09	-0,07	-0,17	-0,18	-0,21	0,19	0,12	-0,01	-0,22
Cl ⁻	0,34	0,05	0,30	-0,25	-0,02	0,07	0,09	1	0,65	0,13	0,20	-0,07	0,04	0,26	0,64	0,07
SO ₄ ²⁻	0,43	0,23	0,16	-0,49	-0,25	-0,28	-0,07	0,65	1	0,12	-0,05	-0,24	-0,09	0,29	0,53	0,21
NO ₃ ⁻	0,01	0,35	-0,14	-0,30	-0,17	-0,02	-0,17	0,13	0,12	1	0,35	0,19	0,55	0,18	0,35	-0,08
NO ₂ ⁻	0,27	-0,11	-0,11	-0,24	0,04	0,54	-0,18	0,20	-0,05	0,35	1	0,64	0,16	0,47	0,63	-0,35
NH ₄ ⁺	-0,04	-0,25	-0,17	-0,01	0,05	0,64	-0,21	-0,07	-0,24	0,19	0,64	1	0,27	0,30	0,07	-0,31
PO ₄ ³⁻	0,01	0,48	0,19	0,07	0,23	0,38	0,19	0,04	-0,09	0,55	0,16	0,27	1	0,22	-0,03	0,13
Si	0,29	0,04	0,23	-0,02	0,21	0,23	0,12	0,26	0,29	0,18	0,47	0,30	0,22	1	0,46	-0,20
Fe	0,41	0,09	0,15	-0,41	-0,03	0,07	-0,01	0,64	0,53	0,35	0,63	0,07	-0,03	0,46	1	-0,21
БО	0,06	0,26	-0,20	-0,17	-0,16	-0,47	-0,22	0,07	0,21	-0,08	-0,35	-0,31	0,13	-0,20	-0,21	1

Примечание: М – общая минерализация, БО – бихроматная окисляемость

3.3.4. Оценка среднегодовых значений стока растворенных веществ р. Воложбы

В основу расчета гидрохимического стока для внешних водоприемников Ларьянской болотной системы были положены среднегодовые фоновые концентрации различных химических веществ и расходов воды. Оценка проводилась для р. Воложбы, Воложбинского гидроствора, ручья Каменок за период наблюдений активного хозяйственного освоения (1987 – 1988 гг.) и прекращения мелиорации (2007 – 2010 гг.) для р. Воложбы, Полученные модули гидрохимического стока рек мелиорированного болота представлены в табл. 23.

Таблица 23. Модули стока растворенных веществ для рек-водоприемников Ларьянского болота за разные периоды наблюдений

Годы наблюдений	Среднегодовой модуль, л/км ²	Модуль ионного стока		Модуль стока органического вещества	Модуль стока биогенных веществ				
		$P_{И}, \frac{т}{км^2 \cdot год}$	$P_{SO_4}, \frac{т}{км^2 \cdot год}$	$P_C, \frac{т}{км^2 \cdot год}$	$P_{NO_3}, \frac{кг}{км^2 \cdot год}$	$P_N, \frac{кг}{км^2 \cdot год}$	$P_{PO_4}, \frac{кг}{км^2 \cdot год}$	$P_{Fe}, \frac{кг}{км^2 \cdot год}$	$P_{Si}, \frac{кг}{км^2 \cdot год}$
р. Воложба (1987 – 1988)	8	21,1	5,2	5,6	208	500	2,4	1 434	454
р. Воложба (2007 – 2010)	8	52,4	12,5	11,2	88	107	4,6	154	504
Воложбинский г/с (1958 – 1988)	4,7	4,5	0,6	9,9	75	99	5,6	358	172
Ручей Каменок (1983 – 1988)	10,4	2,2	0,6	15,9	124	211	1,7	383	-

Примечание: модуль стока минерального азота определен как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота; модуль стока минерального фосфора – по фоновому содержанию фосфора фосфатов

В результате проведенных расчетов установлены следующие среднегодовые модули гидрохимического стока с территории освоенного верхового болота. Согласно литературным данным (Никаноров, 2011), вынос растворенных веществ с территории мелиорируемых болот колеблется в широких пределах, от единиц килограмма до десятков тонн в год. Так, для р. Воложбы отмечается двукратное увеличение модулей ионного стока (21,1 – 52,4 т/км²), стока сульфатов (5,2 – 12,5 т/км²), стока органических веществ (5,6 – 11,2 т/км²), а также стока фосфатов (2,4 – 4,6 кг/км²) за период 2007 – 2010 гг. по сравнению с периодом интенсивного хозяйственного освоения, что объясняется как

увеличением водности, так и концентраций ряда минеральных веществ.. Модули стока биогенных веществ – минерального азота ($208 - 88 \text{ кг/км}^2$), нитратного азота ($500 - 107 \text{ кг/км}^2$) и общего железа ($1434 - 154 \text{ кг/км}^2$), наоборот, уменьшились, что связано с прекращением внесения азотных и фосфорных удобрений на участки торфоразработок в 1990-ые годы.

Полученные данные для ручья Каменок, принимающего сток с единственного сохранившегося естественного участка на западной территории Ларьянского болотного массива могут быть сопоставлены с модулям стока химических веществ рек-водоприемников типичных верховых болот (Иласский болотный массив). Значения P_N для ручья Каменок в 3 раза ниже ($2,2 \text{ т/км}^2$), чем для внешних водоприемников верховых болот, модуль стока органического вещества составляет $15,9 \text{ т/км}^2$, стока минерального азота – 211 кг/км^2 , нитратного азота – 124 кг/км^2 , стока фосфатов – $1,7 \text{ кг/км}^2$ и общего железа – 383 кг/км^2 .

Сравнение полученных характеристик стока химических веществ с фоновыми характеристиками стока для олиготрофных болот, свидетельствует о том, что в условиях интенсивной мелиорации верховых болот происходит существенное увеличение ионного стока- в 5 раз, минерального азота – в 3 раза, нитратного азота — в 5 раз, некоторое (двукратное) снижение модуля стока общего железа.

3.3.5. Оценка среднемноголетних значений сезонного стока растворенных веществ

В литературе отмечена значительная сезонная изменчивость выноса солей коллекторными водами как со всей системы в целом, так и с отдельных ее участков, определяющаяся объемом сбрасываемых вод, запасом на мелиорируемом участке различных химических веществ и условиями их смывания с поверхности и вымывания из торфяной залежи коллекторными водами. При этом наибольший вынос биогенных веществ наблюдается в вегетационный период, приуроченный к внесению химических удобрений (Потапова, 2006).

Оценка сезонной изменчивости стока растворенных веществ проводилась на основе расчета средних сезонных значений различных химических компонентов и среднемноголетних расходов воды за сезон (табл. 8 (Приложение)). В виду малочисленности сезонных гидрохимических наблюдений на многих водотоках Ларьянской болотной системы выявление закономерностей сезонной динамики химизма вод оказалось возможным только для р. Воложбы за современный период – 2007 – 2010 гг.

Установленные сезонные процентные соотношения модулей ионного стока, стока органического вещества и биогенных элементов представлены в табл. 24.

Таблица 24. Процентное соотношение стока растворенных веществ р. Воложба – д. Воложба за период 2007 – 2010 гг. (Ларьянское болото)

Сезон	$P_{И}, \%$	$P_{С}, \%$	$P_{N}, \%$	$P_{PO_4}, \%$	$P_{Fe}, \%$	$P_{Si}, \%$
Зима	0	0	0	0	0	0
Весна	45	63	64	54	49	61
Лето	24	17	18	19	20	19
Осень	31	20	18	27	31	20

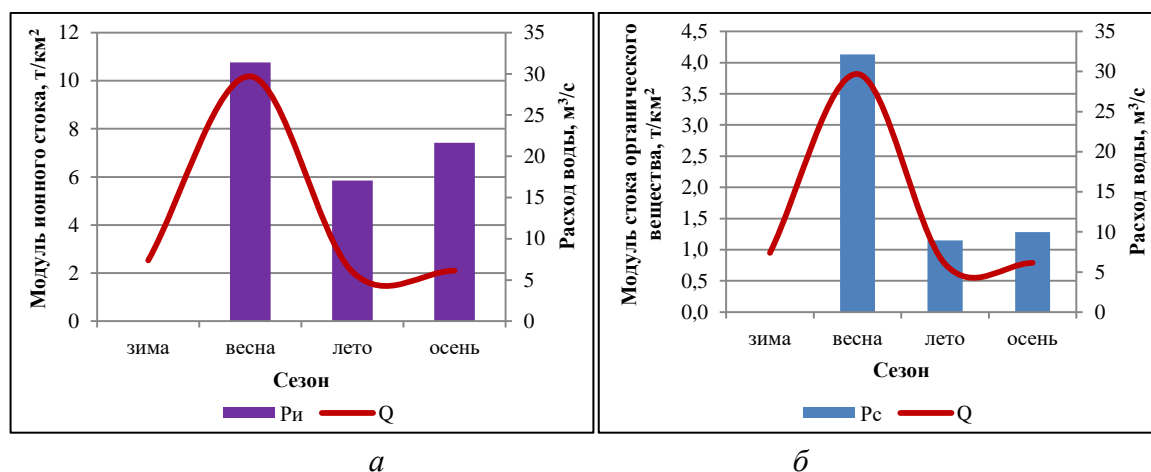


Рис. 17. Совмещенные графики сезонного распределения модуля ионного стока (а) и органического вещества (б) и среднесезонных расходов воды за период 2007 – 2010 гг. для р. Воложба

Как видно из рис. 17а, для сезонного распределения ионного стока характерно, что, хотя основная его часть и приурочена к периоду весеннего половодья ($P_{И} = 10,8 \frac{т}{км^2}$), тем не менее в течение всего летне-осеннего периода $P_{И}$ сохраняет достаточно высокие значения ($5,9 \frac{т}{км^2}$), что очевидно, обусловлено активным поступлением минеральных солей с освоенных территорий при вымывании их дождями. Для внутригодовой динамики стока органических веществ характерен основной их вынос в период весеннего половодья (63%), как и для других не мелиорированных верховых болот Северо-Запада.

Сезонная изменчивость стока биогенных элементов с мелиорированной территории болота имеет аналогичную закономерность, что и ионный и органический сток (рис. 18): максимальные значения P_{N} и P_{PO_4} зафиксированы в периоды максимальных расходов (54 – 64%), минимальные – в летнюю межень (18 – 19%). Высокая концентрация соединений азота ($38,8 \frac{кг}{км^2}$) и фосфатов ($1,2 \frac{кг}{км^2}$) в периоды весеннего половодья

обусловлена высокой степенью депонирования и долгими процессами растворения и выноса солей, входящих в состав химических вносимых удобрений.

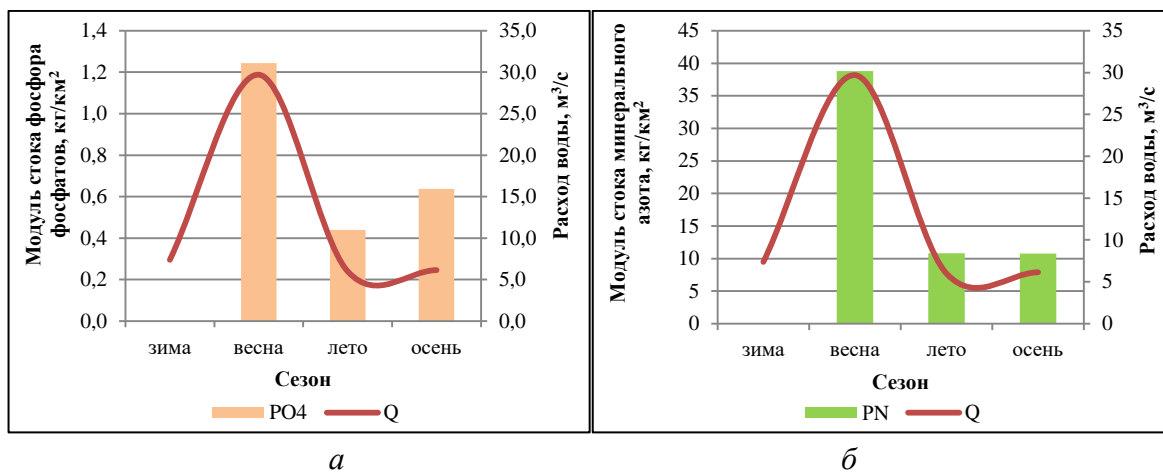


Рис.18. Совмещенные графики сезонного распределения модуля стока фосфатов (а) и минерального азота (б) и расходов воды за период 2007 – 2010 гг. для р. Воложба

Согласно полученным данным, сезонный ход модулей стока общего железа и кремния имеет ярко выраженный характер (рис. 19). Как и для всей мелиорированной части массива максимальный вынос железа выпадает на весенний период ($P_{Fe} = 36,8 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$), однако высокие значения отмечаются и осенью, что, очевидно, связано с накоплением его на поверхности мелиорируемой территории с последующим выщелачиванием во время осеннего паводка. Пространственное распределение модулей стока кремния определяется, прежде всего, водным режимом: максимальный вынос наблюдается в весенне половодье (61%), минимальный – в период летней межени (19%).

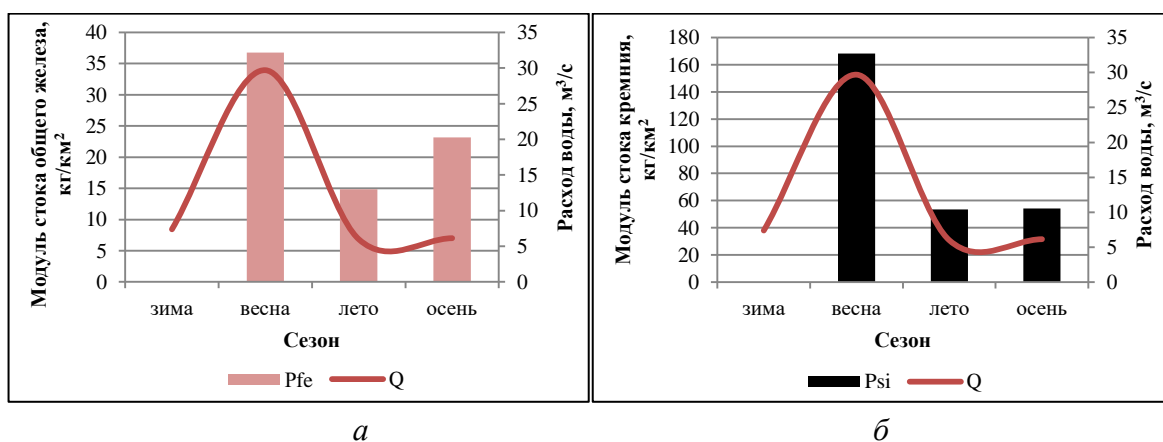


Рис. 19. Совмещенный график сезонного распределения модуля стока железа (а) и кремния (б) расходов воды за период 2007 – 2010 гг. для р. Воложба

Обобщая полученные приближенные стоковые характеристики, можно сделать следующие выводы. Для мелиорируемой территории Ларьянского болотного массива модуль годового ионного стока варьирует в интервале $4,5 - 52,4$ т/км², органического вещества – $5,6 - 11,2$ т/км², модули годового стока минерального и нитратного азота варьируют в пределах, соответственно, $99 - 500$ кг/км² и $75 - 208$ кг/км², модули стока фосфатов – $2,4 - 5,6$ кг/км², стока железа – $154 - 1\,434$ кг/км² и кремния $172 - 454$ кг/км².

На основе расчета среднееголетних средних за сезон концентраций и расходов воды были получены пространственные характеристики гидрохимического стока для мелиорированного болота. При этом установлено, что объемы выносимых веществ определяются, главным образом, концентрациями химических веществ, а, во-вторых фазой и объемом водного стока, о чем свидетельствует однонаправленность изменений в рядах среднегодовых расходов и стоков растворенных веществ.

Глава 4. Гидрохимический сток рек с территории низинных болот на примере Тарманского болота

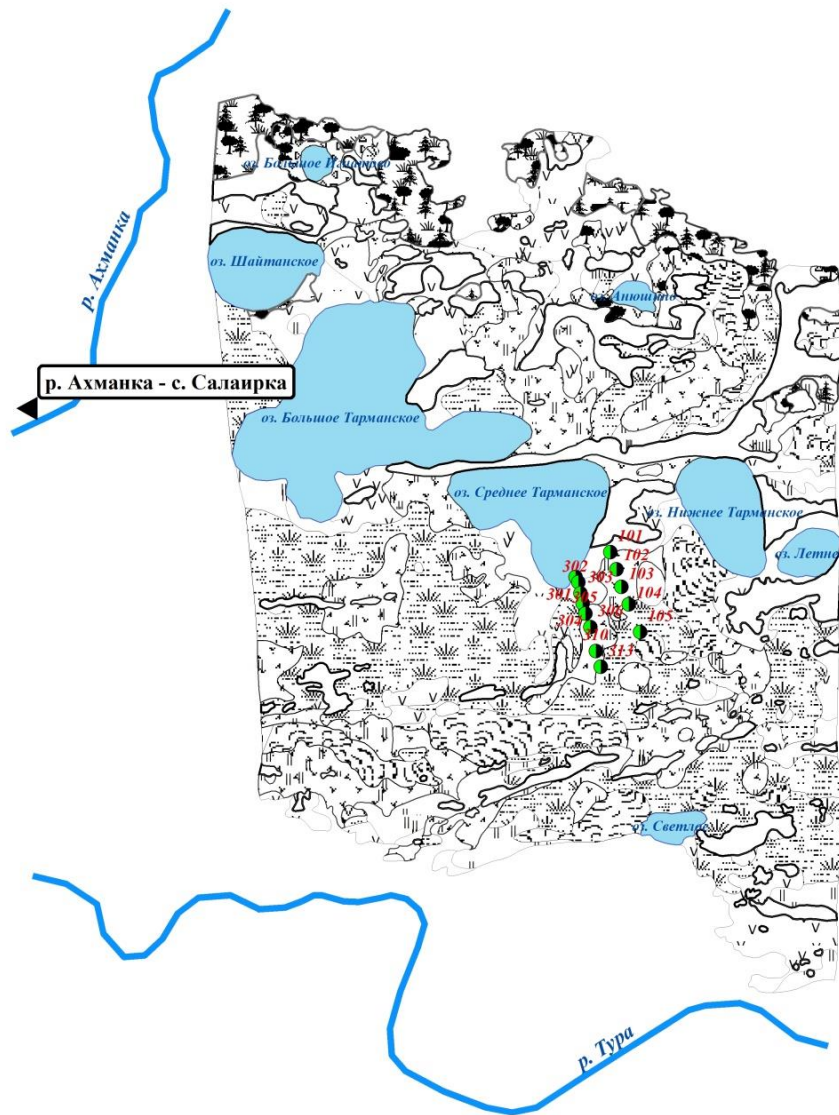
4.1. Физико-географическое описание

Типичным представителем низинных болот, наиболее распространенным на юге Западной Сибири является Тарманский болотный массив, на котором проводились режимные гидрометеорологические наблюдения силами Тюменской болотной станции Омского УГМС, действующей с 1960 по 1990 годы (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Общая площадь Тарманского массива составляет 1240 км². Прилегающие территории массива представлены площадями, занятыми хвойными и лиственными лесами – 595 км²; заболоченными лесами – 131 км²; открытыми болотами – 81 км²; озерами – 15 км²; пашнями, огородами, постройками – 98 км² (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Тарманский болотный массив относится к низинному типу болот террасного залегания на древней надпойменной террасе левого склона долины р. Туры, что обуславливает его сильно вытянутую форму, ориентированную параллельно основным элементам гидрографической сети. Длина массива 136 км, ширина колеблется от 7 до 40 км (Материалы наблюдений, 1961 – 1988). Долина р. Туры в районе залегания Тарманского болотного массива врезана в слабо наклоненные третичные и четвертичные отложения морского и пресноводного происхождения, представленных песками, глинами, галечниками и суглинками (Ресурсы поверхностных вод, 1973).

Типологическая карта-схема Тарманского болота



Условные обозначения

	Речной пост
	Скважины для наблюдения за уровнем болотных вод
	Реки
	Грядово-мочажинный комплекс
	Березово-сосново-осоковый
	Осоково-березовый
	Сосново-березово-осоковый
	Березово-осоковый
	Гипново-осоковый
	Осоково-гипновый
	Гипновый
	Осоковый
	Суходол
	Озера

Рис. 20. Типологическая карта-схема Тарманского болотного массива

С севера массив окружен хвойными сосново-еловыми лесами, с запада – березовыми лесами с густым травяным покровом. Южные и восточные берега болота покрыты молодой березовой порослью (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Господствующими микроландшафтами на болоте являются осоково-гипновые, гипново-осоковые, осоково-березовые и осоково-кустарничковые, занимающие в центральной и западной частях около 70% площади. Характерным для восточной и северной частей массива является широкое распространение олиготрофной и мезотрофной растительности, в частности, кустарничково-осоковых болотных микроландшафтов. Мозаичные комплексы наибольшее распространение получили в центральной части массива. В западной части массива они сменяются грядово-мочажинным комплексом (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Характерной особенностью прилегающей территории и самого Тарманского болотного массива является слабо развитая гидрографическая сеть: коэффициент густоты речной сети колеблется в пределах 0,30 – 0,35 км/км². Все водотоки в пределах массива имеют слабо развитые русла, сильно зарастающие водной растительностью, и малые продольные уклоны (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Гидрографическая сеть Тарманского болотного массива представлена многочисленными озерами, постоянными и временными водотоками, впадающими в болото или берущими из него начало. Озера в основном находятся в центральной части массива. Общая площадь их составляет 125,4 км² (10,1% территории массива). Наиболее крупными из них являются озера: Большое Тарманское (площадь 1694 га), Айгинское (1514 га), Липовое (795 га). Наиболее крупными водотоками, протекающими по болотному массиву, являются р. Ахманка, р. Айга, р. Бухталка, р. Капланка (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Таблица 25. Гидрографическая характеристика водотоков Тарманского болотного массива

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Среднегодовой расход воды л/с
р. Ахманка – с. Салаирка	670	66	1 040
р. Бухталка – д. Малый Бухтал	101	19	715
р. Айга - 106 км по лв. берегу р. Тура	-	18	11,8

Сток с болота осуществляется по нескольким небольшим зарастающим и часто пересыхающим водотоками: по рекам Ахманке, Капланке, Велижанке, Айге, Отрог, Еловке, а также по временным ручья, расположенным на южной окрайке болота.

Единственной рекой, по которой сток происходит в течение всего года, является р. Ахманка, хотя летом и зимой он становится малым. Все остальные водотоки являются временными, сток в них имеется только в период снеготаяния, летом ручьи пересыхают (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

Река Ахманка берет начало за пределами болотного массива из оз. Ахманское. В пределы болотного массива входит в северо-западной части, пересекает весь болотный массив и впадает в р. Туру у с. Салаирка. При этом степень заболоченности водосбора достигает 45 – 50%, что и обусловило выбор этой реки как наиболее репрезентативной для расчета стока растворенных веществ. Русло реки выражено не на всем протяжении, местами оно захламлено поваленными деревьями, что свидетельствует о высокой залесенности водосбора реки, сильно меандрирует, и только в устьевой части, при выходе на суходол, оно ясно выражено. Летом русло по всей ширине зарастает водной растительностью (Материалы наблюдений, 1961 – 1988).

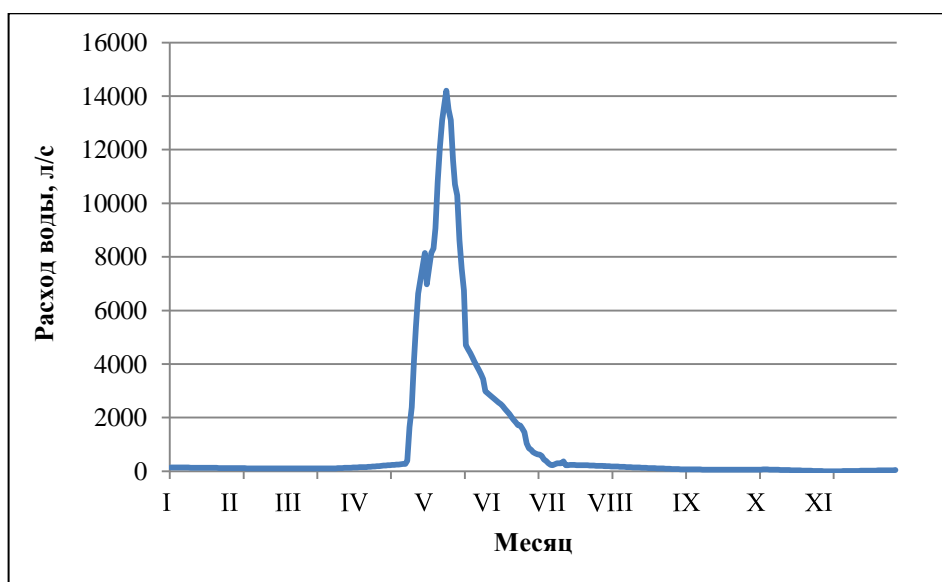


Рис. 21. Гидрограф р. Ахманка – с. Салаирка за год средней водности (1984 г.)

Для водного режима р. Ахманки как и для других рек этого района характерно непродолжительное. Реки рассматриваемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, продолжающимся 1,5 – 2 месяца, летне-осенними паводками, сопровождающиеся небольшими подъемами вода, и длительной устойчивой зимней меженью (140 – 160 дней) с низким, иногда даже прекращающимся, стоком (рис. 21). При этом установлено следующее распределение стока по сезонам: в период весеннего половодья проходит 80 – 85 % годового стока, в летне-осенний сезон – 10 – 15%, зимой – от 5 до 10%. Доля талых вод в суммарном питании рек достигает 60%,

дождевых – до 12%. Роль подземного питания уменьшается, т.к. водоносные отложения перекрываются водоупорным пластом, и составляет здесь 28% (Ресурсы поверхностных вод, 1973).

4.2 Гидрохимическая характеристика болотных и речных вод Тарманского болотного массива

Фоновые гидрохимические показатели болотных и речных вод Тарманского массива были получены по обобщенным данным Омского УГМС за период 1960 – 1987 годы. Расчет гидрохимического фона поверхностных вод был выполнен в соответствии с нормативами ГХИ Роскомгидромета, требующими статистического анализа гидрохимических рядов на однородность, с большим числом членов: 2 466 – для р. Ахманка и 4 610 – для болотных вод.

Для установления отличий в формировании химического состава различных микроландшафтов, гидрохимические данные по болотным водам были разделены на выборки: первая включала в себя все типы микроландшафтов Тарманского болота, вторая – осоковые (осоково-гипновые), третья – ивово-осоковые (-березовые). Статистические оценки гидрохимических показателей болотных и речных вод приведены в табл. 26.

На основе анализа гидрохимических данных были установлены основные отличительные признаки осоковых (осоково-гипновых) микроландшафтов (скв. 101, 102, 104, 105. 302, 310, 313): гидрокарбонатно-натриево-кальциевые высоко минерализованные (721 мг/л) воды нейтрального характера ($\text{pH} = 6,8$), что говорит о преобладающей роли грунтового питания. Важным гидрохимическим показателем является высокая цветность (190 градусов), отражающаяся также на содержании органических веществ (101,5 мгО/л). Отличительной особенностью осоковых микроландшафтов является высокие концентрации биогенных веществ – железа (1,2 мг/л) и, особенно, кремния (9,7 мг/л), что свидетельствует об его интенсивном выщелачивании из торфяной подстилки. Все эти признаки указывают на то, что в наибольшей степени эвтрофный характер наиболее выражен для осоково-гипновых микроландшафтов в отличие от ивово-осоково-березовых, для которых характерна более низкая минерализация (383 мг/л) при сохранении гидрокарбонатно-кальциево-натриевого состава.

Таблица 26. Фоновые гидрохимические характеристики различных типов микроландшафтов Тарманского болота за период 1960 – 1987 гг.

Характеристика	Все микроландшафты			Осоковые (осоково-гипновые) микроландшафты			Ивово-осоковые (-березовые) микроландшафты		
	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>	<i>N</i>	<i>C_v</i>	<i>C_ф</i>
pH	286	0,07	6,8 ± 0,04	216	0,06	6,8 ± 0,04	70	0,08	6,8 ± 0,1
Цветность, градусы	342	0,57	179 ± 9	260	0,53	190 ± 10	82	0,69	145 ± 18
Минерализация, мг/л	353	0,58	643 ± 33	271	0,54	721 ± 39	82	0,54	383 ± 38
<i>Ca</i>²⁺	353	0,67	59,0 ± 3,5	271	0,64	65,0 ± 4,2	82	0,60	39,3 ± 4,3
<i>Mg</i>²⁺	351	0,65	32,4 ± 1,8	271	0,60	36,1 ± 2,2	82	0,61	20,4 ± 2,3
<i>Na</i>⁺ + <i>K</i>⁺	353	0,81	60,5 ± 4,3	269	0,78	67,2 ± 5,3	82	0,53	37,2 ± 3,6
<i>HCO</i>₃⁻	353	0,64	388,9 ± 21,8	271	0,59	432,7 ± 25,7	82	0,61	244,3 ± 27,3
<i>Cl</i>⁻	353	0,68	53,5 ± 3,2	271	0,65	59,4 ± 3,9	82	0,49	34,1 ± 3,1
<i>SO</i>₄²⁻	353	1,89	5,8 ± 1,0	271	1,26	5,1 ± 0,6	82	2,37	8,2 ± 3,6
Кремний, мгSi/л	268	2,88	8,6 ± 2,5	197	2,96	9,7 ± 3,4	82	0,60	5,6 ± 0,7
Железо общее, мкгFe/л	259	3,60	1,1 ± 0,4	191	3,64	1,2 ± 0,5	71	1,23	0,7 ± 0,2
Бихроматная окисляемость, мгО/л	224	0,52	94,1 ± 5,4	150	0,53	101,5 ± 7,3	74	0,43	79,2 ± 6,6

Примечание: *C_v* – коэффициент вариации; *C_ф* – фоновое содержание компонента, *N* – число проб

В отличие от верховых болот (Иласский болотный массив) содержание органического вещества в низинных болотах существенно снижается (79 мгО/л), как и цветности (145 градусов), поскольку в таких типах болот органическое вещество представлено более «молодыми» фульвокислотами, которые неустойчивы во времени и легко мигрируют.

Вышеперечисленные особенности химического состава болотных вод эвтрофных болот дают широкое представление об их влиянии на химизм рек, принимающих болотный сток (табл. 27). Прежде всего это проявляется в повышенных содержаниях органических веществ и концентраций биогенных элементов до 1,3 мг/л по аммонийному азоту, до 1,8 мг/л по общему железу и по кремнию – до 6,1 мг/л. Общая минерализация и ионный состав вод р. Ахманки соответствует региональному фону рек Западной Сибири (Никаноров, 2011).

Таблица 27. Среднемноголетние фоновые гидрохимические характеристики для р. Ахманки - с. Салаирка (Тарманское болото) за период 1960 – 1987 гг.

Характеристика	N	C _v	C _ф
pH	117	0,06	7,2 ± 0,1
Цветность, градусы	154	0,62	60 ± 5
Минерализация, мг/л	156	0,53	343 ± 24
Ca²⁺	156	0,51	46,1 ± 3,1
Mg²⁺	156	0,62	14,6 ± 1,2
Na⁺ + K⁺	153	1,32	27,1 ± 4,8
HCO₃⁻	156	0,56	221,7 ± 16,5
Cl⁻	156	1,17	20,5 ± 3,2
SO₄²⁻	156	1,24	10,9 ± 1,8
Азот аммонийный, мгN/л	89	1,22	1,3 ± 0,3
Азот нитратный, мгN/л	88	2,87	0,01 ± 0,01
Азот нитритный, мгN/л	88	3,51	0,003 ± 0,002
Фосфор фосфатов, мгP/л	88	1,47	0,1 ± 0,02
Кремний, мгSi/л	136	0,96	6,1 ± 0,8
Железо общее, мкгFe/л	137	1,61	1,8 ± 0,4
Бихроматная окисляемость, мгО/л	154	0,35	36,9 ± 1,7

Примечание: C_v – коэффициент вариации; C_ф – фоновое содержание компонента, N – число проб

4.3. Гидрохимические особенности болотных и речных вод

Для выявления генезиса формирования химического состава поверхностных вод Тарманского болотного массива и внешних водоприемников болота был проведен корреляционный анализ между общей минерализацией и основными компонентами химического состава болотных и речных вод (табл. 28 – 29 и табл. 9 (Приложение)).

Как видно из сопоставления коэффициентов корреляции наиболее существенное различие в болотных и речных водах проявляется в более тесной связи общей минерализации и гидрокарбонатами ($R = (+0,71) - (+0,95)$) и магнием ($R = (+0,62) - (+0,83)$) и, наоборот, менее тесная связь между общей минерализацией и сульфатами в речных и болотных водах ($R = (-0,03) - (+0,13)$). Это отражает специфику формирования болотных вод: отсутствие аэрации и накопление соединений серы в торфяной залежи.

Таблица 28. Корреляционная матрица основных компонентов химического состава речных вод р. Ахманка Гарманского болотного массива (N = 2466) за период 1960 – 1987 гг.

Характеристика	Цветность	pH	БО	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	M	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄	Si	Fe
Цветность	1	-0,13	0,07	-0,36	-0,36	-0,16	-0,46	0,15	-0,11	-0,42	-0,21	-0,11	-0,06	-0,16	-0,18	-0,14
pH	-0,13	1	0,20	0,01	0,14	0,32	0,14	0,23	0,19	0,22	0,33	0,13	0,13	0,26	0,17	0,27
БО	0,07	0,20	1	0,08	0,00	0,03	0,05	-0,01	-0,01	0,04	0,05	0,02	0,09	0,23	0,01	-0,01
Ca ²⁺	-0,36	0,01	0,08	1	0,79	0,12	0,87	0,04	0,20	0,83	0,31	-0,12	0,06	0,05	0,41	0,30
Mg ²⁺	-0,36	0,14	0,00	0,79	1	0,21	0,84	0,12	0,28	0,83	0,39	-0,10	0,04	0,11	0,41	0,43
Na ⁺ + K ⁺	-0,16	0,32	0,03	0,12	0,21	1	0,31	0,12	0,55	0,53	0,40	0,12	0,12	0,16	0,18	0,14
HCO ₃ ⁻	-0,46	0,14	0,05	0,87	0,84	0,31	1	-0,01	0,26	0,95	0,41	-0,07	0,09	0,13	0,44	0,34
SO ₄ ²⁻	0,15	0,23	-0,01	0,04	0,12	0,12	-0,01	1	0,19	0,13	-0,02	0,01	0,00	-0,02	0,02	0,18
Cl ⁻	-0,11	0,19	-0,01	0,20	0,28	0,55	0,26	0,19	1	0,48	0,50	0,10	0,15	0,09	0,29	0,12
M	-0,42	0,22	0,04	0,83	0,83	0,53	0,95	0,13	0,48	1	0,50	-0,03	0,12	0,15	0,45	0,39
NH ₄ ⁺	-0,21	0,33	0,05	0,31	0,39	0,40	0,41	-0,02	0,50	0,50	1	0,09	0,06	0,21	0,28	0,41
NO ₃ ⁻	-0,11	0,13	0,02	-0,12	-0,10	0,12	-0,07	0,01	0,10	-0,03	0,09	1	0,13	0,07	-0,09	0,00
NO ₂ ⁻	-0,06	0,13	0,09	0,06	0,04	0,12	0,09	0,00	0,15	0,12	0,06	0,13	1	-0,04	-0,02	0,03
PO ₄	-0,16	0,26	0,23	0,05	0,11	0,16	0,13	-0,02	0,09	0,15	0,21	0,07	-0,04	1	-0,01	0,01
Si	-0,18	0,17	0,01	0,41	0,41	0,18	0,44	0,02	0,29	0,45	0,28	-0,09	-0,02	-0,01	1	0,19
Fe	-0,14	0,27	-0,01	0,30	0,43	0,14	0,34	0,18	0,12	0,39	0,41	0,00	0,03	0,01	0,19	1

Примечание: БО – бихроматная окисляемость, М – общая минерализация

Таблица 29. Корреляционная матрица основных компонентов химического состава болотных вод осоково-гипновых микроландшафтах Тарманского болотного массива ($N = 3462$) за период 1960 – 1987 гг.

Характеристика	Цветность	pH	БО	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	M	Si	Fe
Цветность	1	-0,07	0,08	-0,15	-0,21	0,05	-0,16	0,05	-0,01	-0,09	-0,06	-0,04
pH	0,16	1	0,36	0,03	-0,02	-0,01	-0,01	0,22	0,02	0,09	0,09	-0,07
Бихроматная окисляемость	0,35	0,00	1	0,02	0,09	0,13	0,07	0,17	0,13	0,18	0,01	0,01
Ca ²⁺	-0,22	-0,20	0,07	1	0,71	0,40	0,77	0,01	0,39	0,52	-0,01	-0,02
Mg ²⁺	-0,27	-0,12	0,18	0,71	1	0,51	0,90	0,04	0,55	0,62	0,02	0,01
Na ⁺ + K ⁺	0,04	0,04	0,21	0,41	0,51	1	0,73	0,16	0,74	0,59	-0,02	-0,03
HCO ₃ ⁻	-0,22	-0,12	0,18	0,77	0,90	0,74	1	0,03	0,56	0,71	0,00	-0,02
SO ₄ ²⁻	0,03	0,04	0,20	0,01	0,04	0,17	0,03	1	0,24	-0,03	-0,01	-0,06
Cl ⁻	-0,05	-0,05	0,24	0,39	0,55	0,75	0,56	0,24	1	0,43	-0,01	-0,01
Минерализация	-0,10	0,08	0,27	0,52	0,62	0,59	0,71	-0,03	0,43	1	0,02	-0,02
Si	-0,01	-0,02	-0,10	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,02	1	0,02
Fe	-0,01	0,01	0,12	-0,04	-0,04	-0,05	-0,04	-0,09	-0,05	-0,05	-0,01	1

Примечание: БО – бихроматная окисляемость, М – общая минерализация

4.4. Оценка среднегодовых значений стока растворенных веществ р. Ахманка

На основе среднегодовых фоновых значений химических веществ и среднегодовых расходов воды были рассчитаны модули ионного стока, стока органических и биогенных веществ за период 1960 – 1987 гг. для р. Ахманки, как реки-водоприемника стока с низинного болота. Репрезентативность полученных стоков характеристик определяется значительным объемом выборок гидрохимических данных (до 30 членов), представленных табл. 30.

Таблица 30. Модули стока растворенных веществ р. Ахманка – с. Салаирка (Тарманское болото) за период 1960 – 1987 гг.

Среднегодовой модуль речного стока, л/км ²	Модуль ионного стока	Модуль стока органического вещества	Модуль стока биогенных веществ					
	$P_{И}, \frac{Т}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{С}, \frac{Т}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{N}, \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{NH_4}, \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{NO_3}, \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{PO_4}, \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Fe}, \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$	$P_{Si}, \frac{КГ}{км^2 \cdot ГОД}$
1,1	12,4	1,0	48	47,1	0,5	2,3	64	219

Примечание: модуль стока минерального азота определен как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота; модуль стока минерального фосфора-по фоновому содержанию фосфора фосфатов.

Обобщая полученные стоковые характеристики р. Ахманки, можно сделать вывод о том, что для рек, принимающих сток с низинных болот установлены более низкие значения модулей стока органических веществ (до 1т/км²) по сравнению с P_C верховых болот (4,5 – 19 т/км²); модули ионного стока для верховых и низинных болот варьируют в пределах 11 – 26 т/км². Модули стока минерального азота и фосфора также значительно ниже для низинного болота в сравнении с верховыми, что трудно объяснить и нуждается в подтверждении на других низинных болот Северо-Запада и Западной Сибири.

4.5. Оценка среднегодовых значений сезонного стока растворенных веществ

Оценка среднегодовых показателей сезонного стока химических веществ с низинных болот юга Западной Сибири проводилась на примере р. Ахманки за период 1960 – 1987 гг. на основе анализа средних за сезон концентраций химических веществ и среднегодовых среднемесячных характеристик речного стока. В табл. представлено

распределение стока растворенных веществ по сезонам, полученные на основе расчета среднесезонных сезонных характеристик (табл. 10 (Приложение)).

Таблица 31. Процентное соотношение стока растворенных веществ р. Ахманка – с. Салаирка за период 1960 – 1987 гг. (Тарманское болото)

Сезон	$P_{И}, \%$	$P_{С}, \%$	$P_{N}, \%$	$P_{PO_4}, \%$	$P_{Fe}, \%$	$P_{Si}, \%$
Зима	7	3	9	3	7	6
Весна	71	80	78	81	83	70
Лето	10	9	7	7	3	10
Осень	13	8	6	9	6	14

Согласно полученным данным (рис. 22), для внутригодового распределения ионного стока ($P_{И} = 6,5 \frac{т}{км^2}$), и стока органических веществ ($P_{С} = 0,80 \frac{т}{км^2}$), характерно то, что основная их часть приходится на период весеннего половодья (71 – 80%), что подтверждает факт преобладающего влияния фактора водности в распределении модулей стока по сезонам. Минимальные значения модулей $P_{И}$ и $P_{С}$ отмечаются в летнюю (9 – 10%) и зимнюю межень (8 – 13%), и здесь уже основную роль играет концентрационный фактор.

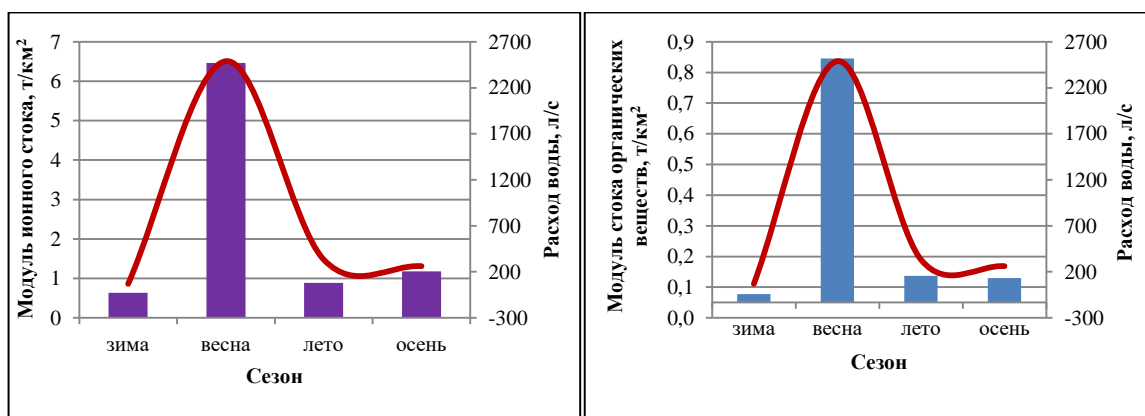
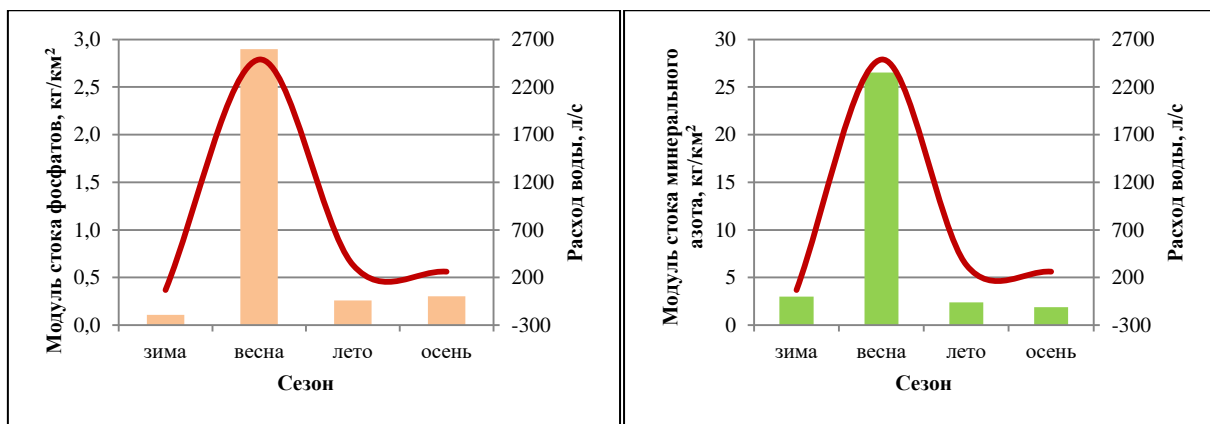


Рис. 22. Совмещенные графики сезонного распределения модуля ионного стока (а) и органического вещества (б) и среднесезонных расходов воды за период 1960 – 1987 гг. для р. Ахманка

Сезонная динамика модулей стока биогенных веществ повторяет ход кривых ионного стока и стока органических веществ (рис. 23): основной объем стока минерального азота ($26,5 \text{ кг/км}^2$) и фосфатов ($2,9 \text{ кг/км}^2$) приурочен к периодам

максимальных расходов воды – на весеннее половодье (78 – 81%). В маловодные периоды года модули стока биогенных веществ значительно снижаются. Стоит отметить, что по сравнению с показателями P_{PO_4} и P_N для верховых болот объемы стока биогенных веществ в низинных существенно ниже.



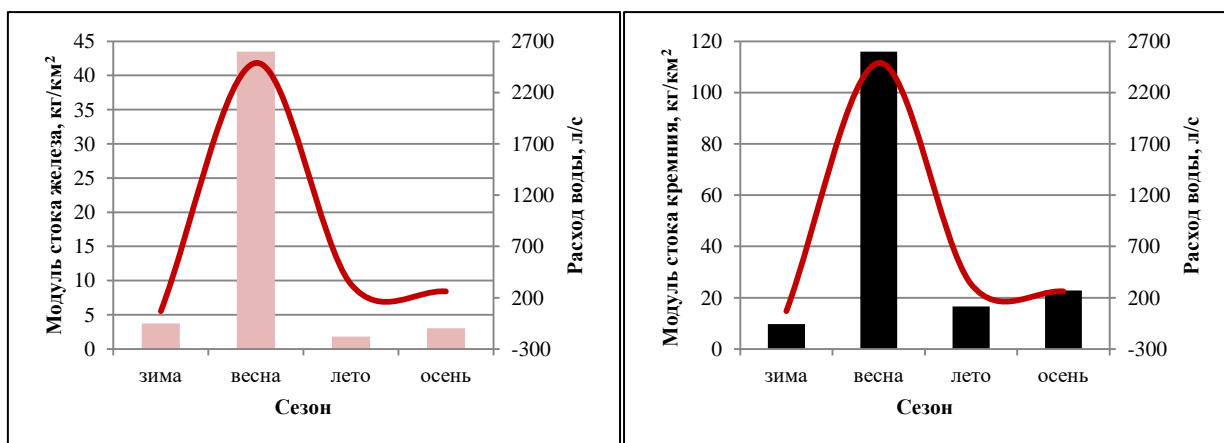
а

б

Рис.23. Совмещенные графики сезонного распределения модуля стока фосфатов (а) и минерального азота (б) и среднесезонных расходов воды за период 1960 – 1987 гг. для р.

Ахманка

Анализируя полученные данные (рис. 24), можно отметить, что сезонное распределение модулей стока общего железа и кремния имеет ярко выраженный характер и совпадает с ходом гидрографа речного стока: с увеличением расходов воды возрастают показатели P_{Si} и P_{Fe} , и наоборот. При этом максимальный вынос общего железа ($43,5 \text{ кг/км}^2$) и кремния ($P_{Si} = 115,9 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$), зафиксирован в период весеннего половодья (70 – 83%).



а

б

Рис.24. Совмещенный график сезонного распределения модуля стока железа (а) и кремния (б) среднесезонных расходов воды за период 1960 – 1987 гг. для р. Ахманка

На примере Тарманского болотного массива были установлены отличительные признаки химического состава болотных вод низинных болот. В основном это гидрокарбонатно-натриево-кальциевые воды повышенной минерализации (643 мг/л), определяющейся грунтовым характером питания этих болот, формирующим нейтральную реакцию среды ($pH = 6,8$), и высокой цветности, связанной с поступлением гуминовых кислот из торфяной залежи. Важным признаком болотных вод является невысокие значения органического вещества (94 мгО/л), обусловленные сравнительно молодой органикой, представленной легко растворимыми фульвокислотами.

Выявлены основные признаки болотного влияния для рек, принимающих сток с Тарманской болотной системы на примере р. Ахманка. Для внешних водоприемников характерны слабощелочные ($pH = 7,2$) среднеминерализованные воды (343 мг/л) с низкой цветностью (60 градусов) и содержанием органических веществ (ХПК = 37 мгО/л). В восстановительных условиях биогенные элементы присутствуют в восстановительной форме, поэтому содержание нитратного и нитритного азота в низинных болотах отмечается в следовых количествах (0,003 – 0,01 мг/л), а аммонийного – с превышением ПДК (1,3 мг/л).

Для выявления генезиса формирования ионного состава поверхностных вод Тарманской болотной системы был проведен корреляционный анализ. Макрокомпонентный состав низинных болот в значительной мере отличается от верховых: как для речных, так и для болотных вод наиболее тесная связь выявлена между гидрокарбонатами ($R = (+0,71) - (+0,99)$) и ионами магния ($R = (+0,62) - (+0,95)$).

На основе статистической обработки среднегодовых фоновых концентраций различных химических веществ и среднегодовых расходов воды были получены модули стока химических веществ для низинного болота: модуль ионного стока – 12,4 т/км², стока органических веществ – 1,3 т/км², модуль минерального азота – 48 кг/км² и фосфатов – 2,3 кг/км², модули стока общего железа (64 кг/км²) и кремния (219 кг/км²).

Оценка сезонной изменчивости стока растворенных элементов проводилась на основе расчета стока растворенных веществ по данным средних сезонных концентраций веществ и среднесезонных расходов воды для р. Ахманки. Установлено, что максимальные значения стока зарегистрированы в период весеннего половодья, минимальные – в период межени. При этом основным фактором, связанным с максимальными значениями модулей стока весной, является речной сток, летом главную роль здесь играет концентрация того или иного химического вещества.

Заключение

1. На основе обобщения данных многолетних гидролого-гидрохимических наблюдений на болотах различных генетических типов установлены модули стока растворенных веществ реками, принимающими сток с верховых и низинных болот Северо-Запада и Западной Сибири. Расчет стоковых характеристик проведен на основе определения фоновых гидрохимических показателей речных и болотных вод в фоновых и нарушенных условиях. Выявлены основные различия формирования химического состава болотных и речных вод верховых и низинных болот, которые определяются:

- для верховых болот – снижением кислотности ($pH =$ от 4,3 до 6,9 ед. pH), изменением ионного состава вод от сульфатно-кальциевых к гидрокарбонатно-кальциевым и увеличением общей минерализации от 20 до 290 мг/л при переходе от болотных к речным водам и снижением содержаний органических веществ (по бихроматной окисляемости от 80 до 250 мгО/л), а также снижением содержаний общего железа (от 0,9 до 9,7 мгFe/л) и кремния (от 1,8 до 5,9 мгSi/л). Биогенный состав исследованных речных вод также имеет ряд отличительных признаков в сравнении с болотными: низкие значения окисленных и восстановленных форм азота (0,001 – 0,2 мг/л) и фосфора (0,01 – 0,07 мг/л) в болотных водах в сравнении речными – до 10,8 мг/л для аммонийного азота и 2,8 мг/л – для фосфатов.

- для низинных болот различия химического состава болотных и речных вод значительно отличаются с верховыми (снижение цветности до 60 градусов и бихроматной окисляемости до 37 мг/л), но при этом наиболее выражены изменения общей минерализации, значения которой варьируют в пределах от 300 для речных до 800 мг/л для болотных вод, сопровождающиеся увеличением щелочности (до 7,2 ед. pH), содержания кремния (до 6,1 мг/л), а также преобладанием HCO_3 и Ca в ионном составе.

2. Установлены модули стока растворенных веществ для олиготрофных болот и выявлены их региональные различия. Для верховых болот Северо Запада (Иласское болото) и Западной Сибири (Васюганское болото) модули речного стока растворенных веществ составляют соответственно:

	Иласское	Васюганское
ионный сток, т/км ²	10,8	25
сток органических веществ, т/км ²	19,3	4,5
сток минерального азота, кг/км ²	39	253
сток минерального фосфора, кг/км ²	3,3	10,4
сток общего железа, кг/км ²	293	119
сток кремния, кг/км ²	586	445

Для исследованных болот характерно многократное превышение стока органических веществ, общего железа и кремния относительно регионального фона.

Установлены различия в модулях стока химических веществ в реках, принимающих сток с различных по трофности участков Васюганского болота: для р. Тром–Юган, принимающей сток с олиготрофных части болота, выявлено превышение модулей стока органического вещества в 3 раза ($P_C = 10,2 \text{ т/км}^2$) по сравнению с р. Васюган, являющейся водоприемником стока с верховых и низинных участков болот ($P_C = 3,4 \text{ т/км}^2$) и уменьшение модулей ионного стока ($P_{\text{И}} = 25 \frac{\text{т}}{\text{км}^2}$ для р. Васюган и $P_{\text{И}} = 17,5 \frac{\text{т}}{\text{км}^2}$ – для р. Тром – Юган). Модули стока биогенных веществ для этих рек изменяются в близких пределах: $P_N = 237 - 289 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$, $P_{\text{PO}_4} = 7,4 - 8,7 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$, $P_{\text{Fe}} = 252 - 255 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$, за исключением кремния ($P_{\text{Si}} = 935 - 1689 \frac{\text{кг}}{\text{км}^2}$).

3. На основе расчета среднесезонных характеристик гидрохимического стока олиготрофных болот установлено количественное распределения модулей стока химических веществ по сезонам. При этом доля ионного стока в период весеннего половодья составляет 44%, стока органического вещества 66%, минерального азота – 45%, фосфатов – 41%, стока общего железа – 60%, стока кремния – 55%. В периоды летней и зимней межени вынос находится на уровне 18 – 32% для ионного стока, сток органического вещества колеблется в пределах 7 – 21%, минерального азота – 10 – 17%, фосфора – 8 – 23%, соединений железа – 11 – 20% и кремния – 12 – 26%.

Сезонное распределение модулей стока различных гидрохимических веществ показывает, что максимальные их значения отмечаются в периоды весеннего половодья, минимальные – в межень. Увеличение модулей стока в летний период, вероятно, объясняется концентрационным фактором – летом концентрации химических веществ значительно превышают расходы воды.

4. Установлены модули речного стока для низинных болот на примере Тарманского болотного массива, составляющие соответственно:

ионный сток, т/км ²	12,4
сток органических веществ, т/км ²	1
сток минерального азота, кг/км ²	48
сток минерального фосфора, кг/км ²	2,3
сток общего железа, кг/км ²	64
сток кремния, кг/км ²	219

Внутригодовая динамика стока растворенных веществ демонстрирует резкое преобладание выноса в период весеннего половодья; в остальные фазы водного режима значения модулей гидрохимического стока минимально. При этом выявлено следующее

процентное соотношение: весной на долю ионного стока, стока фосфатов и общего железа приходится 80 – 83%, стока органического вещества и кремния – 70 – 71%, минерального азота – 78%.

5. Получены основные гидрохимические характеристики поверхностных вод верховых мелиорированных болот на примере Ларьянского болотного массива. Согласно полученным данным, осушенные участки болота сохранили все признаки естественного фона верховых болот: кислая реакция среды ($pH = 4,7$), малая минерализация (15 мг/л), повышенные значения цветности (200 – 460 градусов) и бихроматной окисляемости (78 – 125 мгО/л) и следовые концентрации биогенных веществ (0,001 – 0,15 мг/л).

Воды участков болота, затронутых торфоразработками с внесением минеральных удобрений, значительно отличаются от естественных участков: понижается кислотность вод ($pH = 5,5$), увеличиваются значения общей минерализации (111 мг/л), цветность (826 градусов) и содержание органических веществ (ХПК = 143 мгО/л), а также повышенные концентрации нитритного (0,04 мг/л) и аммонийного азота (0,6 мг/л).

Выявлены основные признаки болотного влияния на реки, принимающие сток с мелиорированных болот. Это преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые слабощелочные воды ($pH = 7,2$), с малой минерализацией (155 мг/л), высокой цветностью (237 градусов), бихроматной окисляемостью (44,1 мгО/л) и пониженными значениями минеральных форм азота и фосфора (0,01 – 0,3 мг/л) по сравнению с периодом активного освоения (1 мг/л).

Рассчитаны модули годового стока растворенных веществ для верховых мелиорированных болот за старый и современный периоды:

	1987 – 1988 гг.	2007 – 2010 гг.
ионный сток, т/км ²	21,1	52,4
сток органических веществ, т/км ²	5,6	11,2
сток минерального азота, кг/км ²	500	107
сток минерального фосфора, кг/км ²	2,4	4,6
сток общего железа, кг/км ²	1434	154
сток кремния, кг/км ²	454	504

Обобщая полученные приближенные стоковые характеристики, можно сделать следующие выводы. Для мелиорируемой территории Ларьянского болотного массива установлено двукратное увеличение модулей ионного стока, стока органических веществ и минерального фосфора. Ощутимо снизился вынос минерального азота и общего железа. Модули стока кремния практически остались неизменными.

Установлены основные черты пространственного распределения стока растворенных веществ для верховых мелиорированных болот. Максимальные объемы выносимых веществ отмечаются в весеннее половодье, минимальные зафиксированы в периоды минимальных расходов воды – летней межени. Наряду с этим доля ионного стока в период весеннего половодья составила 45%, стока органического вещества – 63%, стока минерального азота – 64%, фосфора – 54%, стока общего железа – 49% и кремния – 61%. В период летней межени доля ионного стока достигает 24%, стока органического вещества – 17%, стока минерального азота – 18%, фосфора – 19%, общего железа – 20%, кремния – 19%.

б. Полученные характеристики стока различных химических веществ для рек, принимающих болотные воды с разнотипных болот России, могут быть положены в основу разработок природоохранных мероприятий, в том числе, предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ, и прогноза изменения качества поверхностных вод при проектировании различных хозяйственных объектов, а также для изучения нарастания или облесения болот. При этом наиболее репрезентативные характеристики стока получены для верховых болот; для низинных данные нуждаются в подтверждении дополнительными исследованиями на других болотах России данного типа.

Литература

1. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. - 3-е изд. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 270 с.;
2. Барышников М. К. Осоково-гипновые болота Западного Васюганья (Нарымский край). – «Бюл. Ин-та луговой и болотной культуры им. Проф. В. Р. Вильямса», М., 1929, №2;
3. Бронзов А. Я. Верховые болота Нарымского края. – «Труды науч. исслед. торф. ин-та», 1930, вып. 3;
4. Бронзов А. Я. Гипновые болота на южной окрайке Западно-Сибирской равнинной тайги. – «Почвоведение», 1936, №2;
5. Бронзова Г. Я. Торфяные болота Сибирской части Урало-Кузнецкого комбината. – «Торфяное дело», 1932, №5;
6. Брызгалов В. А., Иванов В.В. Сток растворенных веществ на замыкающих створах бассейнов арктических морей России. //Экологическая химия, 2000 N9, с. 76 – 89;
7. Воронков П.П. Гидрохимические особенности местного стока в период весеннего половодья и почвенного покрова водосборов Европейской территории СССР // Труды ГГИ, 1966, вып.137, с.130-142;
8. Гидрологический ежегодник. Том 6. Выпуск 0 – 3. Бассейн Карского моря (Западная часть). Р. Обь и ее бассейн до устья р. Иртыша. Л.: Гидрометиздат. – 1985 – 1991;
9. Гидрологический ежегодник. Том 6. Выпуск 0 – 3. 1963 год. Бассейн Карского моря (Западная часть). Р. Обь и ее бассейн до устья р. Иртыша. Л.: Гидрометиздат. – 1964;
10. Гидрологический ежегодник. Том 6. Выпуск 0 – 3. 2010 год. Бассейн Карского моря (Западная часть). Р. Обь и ее бассейн до устья р. Иртыша. Л.: Гидрометиздат. – 2011;
11. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. Выпуск 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озера. – СПб.: Гидрометиздат, 2013;
12. Заславская М. Б., Ефимова Л. Е. Сток органических и биогенных веществ (с. 247). – В кн. «Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования» (под ред. Н. И. Алексеевского). – М.: ГЕОС, 2007. – 586 с. + 401 с. цв. вкл.;

13. Кац Н. Я. О типах болот Западно-Сибирской низменности и их географической зональности. – «Вестник торфяного дела», М., 1929, вып. 3;
14. Кац Н. Я. Болота Советской Азии. – «Бюл. МОИП, отд. биол.», 1946, Т. 51, вып. 2;
15. Калюжный И.Л. Оценка выноса органического вещества водами олиготрофного болотного массива, Метеорология и гидрология, 1999, №11, с. 98 – 104;
16. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Я. Гидрохимический режим поверхностных вод Тарманского болотного массива // Труды ГГИ - Л. 1977, Выпуск 236, с. 85 – 95;
17. Кузнецов Н. И. О болотах Нарымского края. – «Болотоведение», 1915, №1;
18. Мальцева А. В., Тарасов М. Н., Смирнов М.П. Сток органических веществ с территории СССР//Гидрохимические материалы, 1987, т. 102, с.76 – 97;
19. Материалы наблюдений болотных станций Северо-Западного УГМС за 1958 – 2010 гг., выпуск 1, Ленинград, 1959 – 2011 гг.;
20. Материалы наблюдений болотных станций Омского УГМС за 1960 – 1987 гг., выпуск 3, Омск, 1961 – 1988 гг.;
21. Нейштадт М. И. Торфяные запасы Барабинской лесостепи. – «Труды ЦТОС», 1936, т. 1;
22. Нейштадт М. И. Мировой природный феномен – заболоченность Западно-Сибирской равнины. – «Изв. АН СССР Сер. Геогр.», 1971 б, №1;
23. Нейштадт М. И. Болота Обь-Иртышского междуречья. – В кн.: Природные освоения междуречья Обь-Иртыш. М., Изд-во АН СССР, 1972;
24. Никаноров А. М. Региональная гидрохимия. СПб.: Гидрометиздат., 2011. – 510 с.;
25. РД 52.24.643-2002 Методические указания, Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям – СПб: Гидрометеиздат, 2002 – 43 с.;
26. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный край (под ред. И. М. Жила и Н. М. Алюшинской). – Л. Гидрометиздат, 1972. – 663 с.;
27. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад (под ред. В. Е. Водогрецкого). – Л. Гидрометиздат, 1972. – 527 с.;
28. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье (под ред. Н. М. Алюшинской). – Л. Гидрометиздат, 1973. – 849 с.;
29. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь (под ред. Н. А. Паниной). Выпуск 2. Средняя Обь. – Л. Гидрометиздат, 1972. – 415 с.;

30. Потапова Т. М., Иванов К. Е. Вынос минеральных и биогенных веществ с территории немелиорированных болот Северо-Запада. – Вестн. ЛГУ, 1982, № 24, с. 78 – 83;
31. Потапова Т.М., Новиков С.М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворённых веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот // Вестник СПбГУ, сер.7, 2006, вып. 2, с. 85 – 95;
32. Потапова Т. М., Четверова А. А., Федорова И. В. Геохимический сток Арктических рек на примере рек Западной Сибири и реки Лена. 2013;
33. Потапова Т.М. Болотный сток минеральных и органических веществ как информативный показатель техногенных изменений на территории нефтегазовых районов арктических районов Западной Сибири // Вестн. С-Петербургского Государственного Университета, Серия 7, Вып. 3, 2013, сер. 7, с. 128 – 139;
34. Предельно-допустимые концентрации в воде рыбохозяйственных водоемов – Москва Роскомрыболовство 1995, с.120;
35. Савичев О. Г. Гусева Н. В., Куприянов Е. А., Скороходова А. А., Ахмед-Оглы К. В. Химический состав вод Обского болота (Западная Сибирь) и его пространственные изменения под влиянием сбросов загрязняющих веществ. – Известия Томского Политехнического Университета, 2013. Т. 323, №1, с. 168 – 172;
36. Савичев О. Г. Региональные особенности химического состава рек Западной Сибири и их учет при нормировании сбросов сточных вод. – Журнал «Вода: Химия и экология», 2014, №1 (66), с. 41 – 46;
37. Савичев О. Г. Геохимические показатели болотных вод в таежной зоне Западной Сибири. – Известия РАН, 2015, №4, с. 47 – 57;
38. Соколов А. А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометиздат, 1952;
39. Тюремнов С. Н. Современные и межледниковые торфяники европейской части СССР и Западно-Сибирской низменности. – «Труды лаборатории геологии угля АН СССР», 1956, вып. 5;
40. Черняева А. М., Гидрохимия болот. 1989, Гидрометиздат, 520 с.;
41. Шелутко В. А. Методы обработки и анализа гидрологической информации: учебно-метод. Пособие. – СПб, 2007. – 192 с.;
42. Savichev O.G. Distribution of Inorganic Pollutants over the Depth of Upper Peat Deposit // Contemporary Problems of Ecology, 2015, Vol. 8, No. 1, pp. 118–124;
43. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // Geochemistry International. – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.

Приложение

Таблица 1. Среднегодовое сезонное гидрохимическое стока для р. Черная
(Иласский болотный массив) за период 1993 – 2010 гг.

Сезон	Среднемесячный расход за многолетний период, л/с	Модуль ионного стока		Модуль стока органического углерода		Модуль стока биогенных веществ							
		Концентрация общей минерализации, мг/л	$P_{И} \frac{T}{KM^2} \text{ ГОД}$	Концентрация бихроматной окисляемости, мг/л	$P_{C} \frac{T}{KM^2} \text{ ГОД}$	Концентрация азота, мг/л	$P_{N} \frac{KG}{KM^2} \text{ ГОД}$	Концентрация фосфора фосфатов, мг/л	$P_{PO4} \frac{KG}{KM^2} \text{ ГОД}$	Концентрация общего железа, мг/л	$P_{Fe} \frac{KG}{KM^2} \text{ ГОД}$	Концентрация кремния, мг/л	$P_{Si} \frac{KG}{KM^2} \text{ ГОД}$
Зима	15,9	12,4	0,3	55,1	0,9	0,14	2,9	0,006	0,1	0,82	17,2	0,36	7,5
Весна	267,2	17,4	3,4	70,1	10	0,13	24,9	0,009	1,8	1,39	272	0,63	123,4
Лето	59,7	59,0	3,1	76,6	3,0	0,13	6,7	0,011	0,6	2,40	125,6	1,07	55,9
Осень	74,2	35,6	1,5	94,7	3,1	0,10	4,3	0,010	0,4	2,52	109,5	1,03	44,8

Таблица 2. Среднегодовые фоновые концентрации гидрохимических веществ в р. Васюган – с. Средний Васюган за период 1985 – 1991 гг.

Характеристика	Число проб	C_v	C_ϕ
рН	49	0,07	$6,9 \pm 0,12$
Цветность, градусы	52	0,53	$113 \pm 13,7$
Минерализация, мг/л	52	0,78	$172 \pm 29,4$
Азот нитратный, мгN/л	40	1,15	$0,2 \pm 0,06$
Азот нитритный, мгN/л	40	2,00	$0,005 \pm 0,003$
Фосфаты, мгP/л	23	0,71	$0,07 \pm 0,02$
Кремний, мгSi/л	39	0,43	$3 \pm 0,3$
Железо общее, мгFe/л	52	1,03	$0,8 \pm 0,2$
Перманганатная окисляемость, мгO/л	42	0,48	$30 \pm 2,6$

Таблица 3. Среднегодовые фоновые концентрации гидрохимических веществ в р. Тром-Юган – пос. Ермаково за период 1985 – 1991 гг.

Характеристика	Число проб	C_v	C_ϕ
рН	24	0,08	$6,6 \pm 0,2$
Цветность, градусы	10	0,9	$159 \pm 55,5$
Минерализация, мг/л	21	0,67	$60 \pm 15,1$
Азот нитратный, мгN/л	20	1,25	$0,04 \pm 0,02$
Азот нитритный, мгN/л	20	0,4	$0,001 \pm 0,0002$
Фосфор фосфатов, мгP/л	24	0,4	$0,03 \pm 0,01$
Кремний, мгSi/л	20	0,52	$5,8 \pm 1,2$
Железо общее, мгFe/л	20	0,7	$1,9 \pm 0,4$
Перманганатная окисляемость, мгO/л	20	0,6	12

Таблица 4. Среднемноголетний сезонный гидрохимический сток для р. Васюган – с. Средний Васюган (Васюганское болото) за период 1985 – 1991 гг.

Сезон	Среднемесячный расход за многолетний период, $\frac{м^3}{с}$	Модуль ионного стока		Модуль стока органического вещества		Модуль стока биогенных веществ					
		Концентрация общей минерализации, мг/л	$P_{И'} \frac{т}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация перманганатной окисляемости, мг/л	$P_{С'} \frac{т}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация минерального азота, мг/л	$P_{N'} \frac{кг}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация общего железа, мг/л	$P_{Fe'} \frac{кг}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация кремния, мг/л	$P_{Si'} \frac{кг}{км^2 \text{ год}}$
Зима	37,3	318	4,9	14	0,2	0,10	1,5	1,8	28	6,4	98
Весна	533,3	89	7,8	26	2,3	0,10	8,5	1,7	149	4,2	367
Лето	136,6	220	4,9	20	0,5	0,09	1,9	1,5	34	6,5	146
Осень	87,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5. Среднемноголетний сезонный гидрохимический сток для р. Тром-Юган – пос. Ермаково (Васюганское болото) за период 1985 – 1991 гг.

Сезон	Среднемесячный расход за многолетний период, $\frac{м^3}{с}$	Модуль ионного стока		Модуль стока органического вещества		Модуль биогенных веществ					
		Концентрация общей минерализации, мг/л	$P_{И'} \frac{т}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация перманганатной окисляемости, мг/л	$P_{С'} \frac{т}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация фосфора фосфатов, мг/л	$P_{PO_4'} \frac{кг}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация общего железа, мг/л	$P_{Fe'} \frac{кг}{км^2 \text{ год}}$	Концентрация кремния, мг/л	$P_{Si'} \frac{кг}{км^2 \text{ год}}$
Зима	41,3	62,8	2,5	8,9	0,4	0,04	1,6	2,2	88	6,8	271
Весна	515,3	27	5,4	12	2,4	0,04	7,9	1,4	278	4	794
Лето	224,2	39	3,4	13	1,1	0,04	3,5	1,4	121	5	432
Осень	106,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 6. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации болотных вод Ларьянского болотного массива (Воложбинский гидроствор; $N = 472$) за период 1958 – 1988 гг.

Компонент	Цветность	pH	БО	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	М	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	Si	Fe
Цветность	1	-0,48	0,89	0,06	-0,31	-0,50	0,05	0,02	-0,16	-0,04	-0,30	-0,18	0,00	-0,35	-0,13	0,25
pH	-0,48	1	-0,47	-0,08	0,24	0,66	-0,22	-0,13	0,26	-0,10	0,46	0,47	-0,18	0,34	0,10	-0,37
БО	0,89	-0,47	1	-0,05	-0,36	-0,57	-0,03	0,10	-0,22	-0,13	-0,32	-0,09	-0,07	-0,32	-0,03	0,24
Ca^{2+}	0,06	-0,08	-0,05	1	0,54	0,02	0,65	-0,26	-0,12	0,75	-0,11	-0,28	0,23	-0,01	0,28	0,31
Mg^{2+}	-0,31	0,24	-0,36	0,54	1	0,48	0,35	-0,14	0,46	0,57	0,52	-0,04	0,17	0,23	0,26	0,09
$Na^+ + K^+$	-0,50	0,66	-0,57	0,02	0,48	1	-0,26	0,06	0,55	-0,01	0,49	0,06	-0,17	0,19	-0,14	-0,31
HCO_3^-	0,05	-0,22	-0,03	0,65	0,35	-0,26	1	-0,18	-0,10	0,94	-0,15	-0,05	0,53	-0,09	0,47	0,49
SO_4^{2-}	0,02	-0,13	0,10	-0,26	-0,14	0,06	-0,18	1	0,32	-0,04	-0,07	-0,19	-0,16	-0,38	-0,14	0,21
Cl^-	-0,16	0,26	-0,22	-0,12	0,46	0,55	-0,10	0,32	1	0,14	0,64	-0,04	-0,17	-0,17	-0,16	-0,05
М	-0,04	-0,10	-0,13	0,75	0,57	-0,01	0,94	-0,04	0,14	1	0,01	-0,12	0,45	-0,11	0,43	0,47
NH_4^+	-0,30	0,46	-0,32	-0,11	0,52	0,49	-0,15	-0,07	0,64	0,01	1	0,35	-0,02	0,23	-0,12	-0,18
NO_3^-	-0,18	0,47	-0,09	-0,28	-0,04	0,06	-0,05	-0,19	-0,04	-0,12	0,35	1	0,00	0,36	0,21	-0,24
NO_2^-	0,00	-0,18	-0,07	0,23	0,17	-0,17	0,53	-0,16	-0,17	0,45	-0,02	0,00	1	0,24	0,37	0,21
PO_4^{3-}	-0,35	0,34	-0,32	-0,01	0,23	0,19	-0,09	-0,38	-0,17	-0,11	0,23	0,36	0,24	1	0,14	-0,25
Si	-0,13	0,10	-0,03	0,28	0,26	-0,14	0,47	-0,14	-0,16	0,43	-0,12	0,21	0,37	0,14	1	0,16
Fe	0,25	-0,37	0,24	0,31	0,09	-0,31	0,49	0,21	-0,05	0,47	-0,18	-0,24	0,21	-0,25	0,16	1

Примечание: М – общая минерализация, БО – бихроматная окисляемость

Таблица 7. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации речных вод Ларьянского болотного массива (р. Воложба – д. Воложба; $N = 69$) за период 1987 – 1988 гг.

Компонент	рН	Цветность	М	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Si	БО
рН	1	0,15	-0,84	-0,93	-0,95	-0,92	-0,69	0,35	0,47	-0,31	0,18	0,22
Цветность	0,15	1	-0,64	-0,17	-0,18	-0,22	-0,78	-0,10	-0,43	-0,09	0,79	0,20
М	-0,84	-0,64	1	0,81	0,83	0,82	0,96	-0,34	-0,04	0,29	-0,56	-0,21
Ca^{2+}	-0,93	-0,17	0,81	1	1,00	0,99	0,61	-0,51	-0,34	0,56	-0,12	-0,29
Mg^{2+}	-0,95	-0,18	0,83	1,00	1	0,99	0,65	-0,49	-0,35	0,51	-0,14	-0,26
$Na^+ + K^+$	-0,92	-0,22	0,82	0,99	0,99	1	0,63	-0,50	-0,36	0,62	-0,17	-0,37
HCO_3^-	-0,69	-0,78	0,96	0,61	0,65	0,63	1	-0,21	0,11	0,11	-0,70	-0,13
NO_3^-	0,35	-0,10	-0,34	-0,51	-0,49	-0,50	-0,21	1	-0,25	-0,37	0,08	-0,24
NH_4^+	0,47	-0,43	-0,04	-0,34	-0,35	-0,36	0,11	-0,25	1	-0,29	-0,27	0,53
PO_4^{3-}	-0,31	-0,09	0,29	0,56	0,51	0,62	0,11	-0,37	-0,29	1	0,03	-0,77
Si	0,18	0,79	-0,56	-0,12	-0,14	-0,17	-0,70	0,08	-0,27	0,03	1	0,01
БО	0,22	0,20	-0,21	-0,29	-0,26	-0,37	-0,13	-0,24	0,53	-0,77	0,01	1

Примечание: М – общая минерализация, БО – бихроматная окисляемость

Таблица 8. Среднегодовое сезонное гидрохимическое стока р. Воложба – д. Воложба (Ларьянское болото) за период 2007 – 2010 гг.

Сезон	Среднемесячный расход за многолетний период, $\frac{м^3}{с}$	Модуль ионного стока		Модуль стока органического вещества		Модуль стока биогенных веществ							
		Концентрация общей минерализации, мг/л	$P_{и}, \frac{т}{км^2 \text{ ГОД}}$	Концентрация биохроматной окисляемости, мг/л	$P_{с}, \frac{т}{км^2 \text{ ГОД}}$	Концентрация минерального азота, мг/л	$P_{N}, \frac{кг}{км^2 \text{ ГОД}}$	Концентрация фосфора фосфатов, мг/л	$P_{P}, \frac{кг}{км^2 \text{ ГОД}}$	Концентрация общего железа, мг/л	$P_{Fe}, \frac{кг}{км^2 \text{ ГОД}}$	Концентрация кремния, мг/л	$P_{Si}, \frac{кг}{км^2 \text{ ГОД}}$
Зима	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Весна	29,7	92,7	10,8	47,4	4,1	0,33	38,8	0,01	1,2	0,3	36,8	1,45	168,4
Лето	6,0	167	5,9	43,5	1,1	0,31	10,8	0,01	0,4	0,4	14,8	1,52	53,5
Осень	6,1	206	7,4	47,6	1,3	0,30	10,8	0,02	0,6	0,6	23,2	1,50	54,1

Таблица 9. Корреляционная матрица макрокомпонентов, биогенных и органических веществ и минерализации болотных вод в ивово-осоковых (-березовых) микроландшафтах Гарманского болотного массива ($N = 1148$) за период 1960 – 187 гг.

Характеристика	Цветность	pH	БО	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	M	Si	Fe
Цветность	1	-0,55	-0,04	-0,18	-0,30	-0,35	-0,26	0,02	-0,34	-0,28	-0,08	-0,12
pH	-0,55	1	0,09	0,07	0,15	0,38	0,16	0,12	0,25	0,20	0,26	0,07
Бихроматная окисляемость	-0,04	0,09	1	0,24	0,14	0,27	0,17	0,14	0,41	0,23	0,12	0,12
Ca ²⁺	-0,18	0,07	0,24	1	0,90	0,61	0,94	-0,09	0,67	0,95	0,01	0,25
Mg ²⁺	-0,30	0,15	0,14	0,90	1	0,66	0,96	-0,15	0,67	0,95	0,01	0,23
Na ⁺ + K ⁺	-0,35	0,38	0,27	0,61	0,66	1	0,75	0,09	0,72	0,80	0,25	0,15
HCO ₃ ⁻	-0,26	0,16	0,17	0,94	0,96	0,75	1	-0,18	0,67	0,99	0,07	0,23
SO ₄ ²⁻	0,02	0,12	0,14	-0,09	-0,15	0,09	-0,18	1	-0,12	-0,05	0,01	-0,03
Cl ⁻	-0,34	0,25	0,41	0,67	0,67	0,72	0,67	-0,12	1	0,73	0,10	0,21
Минерализация	-0,28	0,20	0,23	0,95	0,95	0,80	0,99	-0,05	0,73	1	0,08	0,24
Si	-0,08	0,26	0,12	0,01	0,01	0,25	0,07	0,01	0,10	0,08	1	0,30
Fe	-0,12	0,07	0,12	0,25	0,23	0,15	0,23	-0,03	0,21	0,24	0,30	1

Примечание: БО – бихроматная окисляемость, М – общая минерализация

Таблица 10. Среднеголетний сезонный гидрохимический сток р. Ахманка – с. Салаирка (Тарманское болото) за период 1960 – 1987 гг.

Сезон	Среднемесячный расход за многолетний период, м ³ /с	Модуль ионного стока		Модуль стока органического вещества		Модуль стока биогенных веществ							
		Концентрация общей минерализации, мг/л	$P_{И'} \frac{Т}{КМ^2} \text{ ГОД}$	Концентрация бихроматной окисляемости, мг/л	$P_{С'} \frac{Т}{КМ^2} \text{ ГОД}$	Концентрация минерального азота, мг/л	$P_{N'} \frac{КГ}{КМ^2} \text{ ГОД}$	Концентрация фосфора фосфатов, мг/л	$P_{P_{O_4'}} \frac{КГ}{КМ^2} \text{ ГОД}$	Концентрация общего железа, мг/л	$P_{Fe'} \frac{КГ}{КМ^2} \text{ ГОД}$	Концентрация кремния, мг/л	$P_{Si'} \frac{КГ}{КМ^2} \text{ ГОД}$
Зима	68,9	594	0,6	34,7	0,03	2,8	3,0	0,1	0,11	3,5	3,7	9,1	9,7
Весна	2489,0	223	6,5	36,6	0,80	0,9	26,5	0,1	2,90	1,5	43,5	4	115,9
Лето	333,1	342	0,9	44,7	0,09	0,9	2,4	0,1	0,26	0,7	1,8	6,4	16,5
Осень	261,6	386	1,2	34,7	0,08	0,6	1,9	0,1	0,30	1	3,0	7,5	22,8