

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

На правах рукописи  
Для служебного пользования  
Экз № 19

ПАРОЛОВ Михаил Владимирович

УДК 556.54+556.01(282.5)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА  
ОБСКО-ТАЗОВСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ

II.00.07 -- гидрология суши, водные ресурсы,  
гидрохимия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург

1992



Работа выполнена в Ордена Ленина Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте.

Научный руководитель – доктор географических наук  
В.С. АНТОНОВ

Официальные оппоненты: доктор географических наук  
В.И. БАБКИН  
кандидат физико-математических наук  
В.Л. ТРУШЕВСКИЙ

Ведущая организация – Государственный Океанографический институт

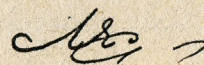
Защита состоится "18" 06 1992 г. в 14 час.  
на заседании специализированного совета Д 063.19.01 при Российском Государственном гидрометеорологическом институте.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на диссертацию и автореферат (в 2 экз., заверенные печатью) просим направлять ученому секретарю по адресу: 195196, Малоохтинский пр., д.98.

Автореферат разослан "14" 05 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор географических наук

 Ю.И. Лягин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации связана с ролью Западно-Сибирского энергетического промышленного региона в экономической и социальной жизни России.

Обско-Тазовская устьевая область – уникальный природный комплекс, один из крупнейших пресноводных объектов страны (третье место по запасам пресных вод после Байкала и Ладожского озера). Водообмен данного водоема с внешней природной средой является важным фактором, определяющим характер, интенсивность и направленность гидрометеорологических процессов на обширной территории севера Сибири.

Дальнейшее развитие нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности на территории Тюменской области несомненно приведет к серьезному обострению экологической обстановки в Западной Сибири и прилегающих арктических районах. Первые признаки серьезных нарушений естественного состояния водных ресурсов отмечены и вызывают тревогу уже в настоящее время.

В условиях постоянно растущего сброса загрязненных вод в устьевую область, а также увеличения объемов безвозвратного водопотребления и степени регулирования стока в бассейне Оби, – исследование процесса водообмена Обско-Тазовской устьевой области с внешней природной средой становится необходимой предпосылкой для решения проблемы рационального использования и охраны природы Западной Сибири и прибрежной акватории Карского моря.

### Цели и задачи исследования

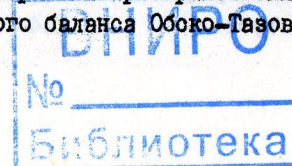
Целью работы являлась оценка количественных характеристик и выявление основных закономерностей формирования пресноводных запасов и баланса вод Обско-Тазовской устьевой области.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

– разработана схема балансового подхода к исследованию пресноводного водообмена устьевых областей эстуарного типа арктической зоны, учитывающая специфику гидрологических процессов, свойственных данным объектам;

– выполнена оценка естественного (ненарушенного) состояния водного баланса и водных ресурсов Обско-Тазовской устьевой области;

– выявлены основные закономерности пространственно-временной изменчивости элементов водного баланса Обско-Тазовской





устьевой области;

- описаны целостные свойства процесса водообмена устьевой области с внешней природной средой;

- оценены возможная направленность и порядок изменений водного баланса и водных ресурсов Обско-Тазовской устьевой области в условиях антропогенного воздействия.

Объект исследования

Обско-Тазовская устьевая область - особый физико-географический объект, расположенный при впадении рек Оби, Пура, Таза и Надьма в Карское море. В пределах пространственных границ устьевой области, определенных, исходя из морфологических и гидрологических признаков, происходят специфические устьевые процессы, обусловленные взаимодействием речных и морских вод между собой и со всеми другими компонентами природной среды.

В соответствии с гидролого-морфологической типизацией Обско-Тазовская устьевая область отнесена к комплексным устьевым областям с закрытым устьевым взморьем (В.Е.Иванов, 1974).

Общая протяженность объекта с юга на север более 1000 км, ширина устьевого взморья от 35 до 82 км, средние глубины 10-12 м. Площадь акватории устьевой области 52 230 км<sup>2</sup>, площадь местного водосбора 514 000 км<sup>2</sup>, общая площадь бассейна 2 946 000 км<sup>2</sup>.

В табл. I приведены сведения о морфометрических характеристиках гидролого-морфологических районов устьевой области.

Таблица I

Морфометрические характеристики Обско-Тазовской устьевой области и ее районов

Район, участок	Протяженность км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup>
УСТЬЕВОЙ УЧАСТОК ОБИ	287	37000	3630
в том числе:			
придельтовый участок	143	24400	380
дельта Оби	144	13000	3250
УСТЬЕВОЕ ВЗМОРЬЕ	760	477000	48600
в том числе:			
Юг Обской губы	260	101000	15000
Север Обской губы	500	54000	24900
Тазовская губа	144	322000	7800

Методы исследования

В качестве метода исследования водообмена устьевой области эстуарного типа использовался балансовый подход. Расчеты составляющих баланса пресных вод выполнялись по различным методикам, в отдельных случаях модифицированных автором для учета специфики объекта.

При постановке задач и разработке схемы исследования, а также при описании целостных свойств совокупности водообменных процессов, использовались принципы системного подхода.

Исходные данные

Всю совокупность собранных автором данных о закономерностях формирования водообмена устьевой области Оби можно условно разделить на три группы:

1. Результаты численных расчетов, моделирования и научных обобщений;
2. Результаты наблюдений стационарной сети станций и постов Омского, Амдерминского и Диксонского УТМС;
3. Данные экспедиционных наблюдений.

Кроме того, в работе были использованы данные натурных измерений, проведенных лично автором в Обско-Тазовской устьевой области во время экспедиций в 1987 и 1988 годах.

Научная новизна работы

Научная новизна работы состоит в разработке схемы комплексного балансового подхода к изучению водообмена устьевой области эстуарного типа.

Данный подход состоит в исследовании баланса, запасов и скорости обновления пресных вод в пространственной и временной динамике и во взаимосвязи друг с другом и факторами внешней среды. При этом рассматривались как частные, так и целостные свойства совокупности водообменных процессов, что позволило на основе численных показателей провести анализ устойчивости запасов и баланса пресных вод Обско-Тазовской устьевой области, а также выявить механизм, определяющий специфические свойства обменных процессов в эстуариях арктической зоны.

Впервые предложена методика прогностической оценки состояния баланса и запасов пресных вод устьевых областей эстуарного типа в условиях антропогенного изменения речного стока и климата.



#### Научная новизна результатов

Ряд результатов, приведенных в диссертации, получен впервые. Среди них:

- количественные оценки составляющих баланса пресных вод Обско-Тазовской устьевой области за сезоны и годовой цикл периода с естественными гидрометеорологическими условиями;
- количественные оценки соотношений между составляющими водного баланса при различных условиях теплообеспеченности для водоема в целом и его гидролого-морфологических районов;
- оценки объемов пресноводных запасов Обско-Тазовской устьевой области (и ее районов) в различные сезоны и годы, а также величин скоростей их полного и частичного обновления;
- прогностические оценки состояния водного баланса и пресноводных запасов Обско-Тазовской устьевой области при вероятных сценариях антропогенного воздействия.

Кроме того, в работе:

- описан процесс сработки и аккумуляции пресных вод в устьевой области Оби, выявлена его роль в формировании суммарного оттока пресных вод в Карское море;
- выявлены основные закономерности пространственно-временной изменчивости элементов водного баланса, водных ресурсов и скоростей обновления пресноводных запасов устьевой области, а также основные факторы, их обуславливающие;
- предложены количественные параметры для оценки устойчивости водообмена и запасов пресных вод устьевой природной системы.

#### Практическая значимость

Практическая значимость выполненной работы состоит в том, что полученные результаты позволяют не только охарактеризовать современное состояние баланса и запасов пресных вод в Обско-Тазовской устьевой области, но также разработать схему контроля за его изменением при дальнейшем усилении антропогенного воздействия.

Кроме того, наличие сведений о количественных характеристиках составляющих баланса вод и их пространственно-временной изменчивости - необходимое условие для анализа современного и перспективного термического, гидрохимического, гидробиологического и, в итоге, экологического состояния Обско-Тазовской

устьевой области и прилегающей акватории Карского моря.

#### Апробация работы

Основные положения диссертации доложены на научных семинарах отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ (1987, 1988, 1989, 1990 гг.), на заседании секции гидрологии Петербургского отделения Географического Общества, на IV Всесоюзном совещании по гидрологии устьев рек (Москва, 1990 г.), а также на научно-техническом Совете Диксонского управления по гидрометеорологии (1991 г.).

По теме диссертации опубликованы четыре статьи и выполнены разделы в научных отчетах ААНИИ по тематике ГКНТ и Госкомгидромета.

#### Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Содержит 150 машинописных страниц текста, включает 19 рисунков, 31 таблицу, список литературы из 206 наименований, а также 14 таблиц и 13 рисунков в приложении.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, изложены цели и задачи исследования, сформулированы основные результаты и область их применения.

В первой главе выполнен анализ состояния изученности закономерностей формирования водного баланса и водных ресурсов Обско-Тазовской устьевой области, рассмотрены предпосылки для реализации цели исследования, а также разработан подход и намечены этапы решения поставленных задач.

По результатам анализа современного состояния изученности водообменных процессов в устьевых областях рек арктической зоны сделан вывод о том, что устьевые области эстуарного типа, в том числе и Обско-Тазовская устьевая область, с воднобалансовых позиций изучены недостаточно. Более того, пресноводный баланс устьев рек арктической зоны вообще не являлся предметом специального исследования.

Вместе с тем, анализ предпосылок для осуществления балансовых оценок водообмена Обско-Тазовской устьевой области с внешней природной средой показал, что, благодаря многолетним целена-



правленным исследованиям, проведенным ААНИИ в тесном сотрудничестве с другими организациями (ЛГМИ, Амдерминским УГМ, СоюзморНИИпроектом, МГУ и другими), был накоплен обширный объем сведений о гидрометеорологическом режиме объекта и его морфометрических характеристиках.

Это обстоятельство послужило условием, позволившим на современном этапе, опираясь на результаты научных обобщений, расчетов и моделирования, а также данные натурных наблюдений, приступить к исследованию закономерностей формирования баланса и ресурсов пресных вод Обско-Тазовской устьевой области.

В качестве методической основы для корректной постановки цели и задач исследования, были приняты принципы системного подхода к изучению устьевых природных объектов, разработанные в ААНИИ (В.В.Иванов, 1985).

В соответствии с этим подходом, Обско-Тазовская устьевая природная система была ограничена по диапазону состояния как воднобалансовая система. Ограничение выполнялось определением состава, структуры и пространственных границ системы с целевой функцией, направленной на непрерывный отток пресных вод в Карское море и обновление запасов водной массы.

В качестве пространственных границ устьевой балансовой системы были приняты: со стороны реки - замыкающий створ на реке Оби у г.Салехарда, моря - подвижная вертикальная плоскость, соответствующая среднему в избранном масштабе времени положению в придонном слое изогалины 1‰ солености.

Для учета большой пространственной протяженности устьевой области, в пределах которой условия водообмена существенно различны, в соответствии с принципами гидролого-морфологического районирования устьевых областей рек (В.В.Иванов, 1974) были выделены пять участков: придельтовый участок Оби, дельта Оби, Тазовская губа, южная и северная части Обской губы. Первые четыре района в современных условиях всегда пресноводны, северная часть Обской губы, в зависимости от изменений речного стока, уровня и солености Карского моря, меняет свой пресноводный объем вследствие миграции гидрофронта.

Последнее обстоятельство определяет необходимость учета в балансовых расчетах эффекта сезонной и годовой изменчивости морфометрических характеристик пресноводной части водоема.

В зависимости от временного масштаба исследуемых процессов поведение балансовой системы имеет свои особенности. Наибольшие изменения водноресурсные характеристики Обско-Тазовской устьевой области претерпевают в годовом и сезонном масштабах, что связано, в основном, с колебаниями поверхностного притока в водоем.

За наступление воднобалансового года в устьевой области принималась дата начала устойчивого накопления в бассейне твердой влаги (ноябрь). Внутри года были выделены балансовые сезоны: холодный (ноябрь-апрель) и теплый (май-октябрь).

В течение холодного периода в устьевой области преобладают процессы накопления твердой и сработки жидкой влаги. В теплый период характер водообменных процессов меняется - происходит активизация водообменных процессов, увеличивается интенсивность потоков влаги на входе и выходе системы. Кроме того, в пределах границ объекта происходит сработка запасов твердой и накопление запасов жидкой влаги.

С водноресурсной точки зрения холодный период является маловодным, теплый - многоводным.

Для анализа закономерностей формирования процесса водообмена устьевой области в условиях усиления антропогенного воздействия целесообразно определить период, в течение которого процессы водообмена имели естественный (ненарушенный) характер. В качестве эталонного периода был выбран период с 1960 по 1975 годы.

Выбор осуществлялся, исходя из условий минимального воздействия на водообмен антропогенных изменений климата и стока в бассейне Оби и достаточности продолжительности этого интервала для вероятностных оценок.

Комплексный балансовый подход к изучению водообмена устьевой природной системы обусловил необходимость выбора соответствующей схемы исследования, в которой бы учитывались как свойства отдельных элементов системы, так и целостные свойства всей совокупности.

Разработка схемы такого исследования, применительно к Обско-Тазовской устьевой области и к устьевым областям эстуарного типа в целом, и является основным итогом первой главы диссертации.

Вторая глава работы посвящена оценке балансовых составляю-



щих Обско-Тазовской устьевой области и анализу их пространственно-временной изменчивости.

В зависимости от имеющихся в наличии сведений расчет по каждому элементу водного баланса проводился либо прямыми, либо косвенными способами, и основывался либо на натурных данных, либо на результатах моделирования.

При оценке объемов вод различного происхождения, участвующих в водообмене, учитывались годовые и сезонные изменения морфометрических характеристик водоема (протяженность и площадь акватории), связанные с изменениями границы раздела пресных и соленых вод.

В этих целях использовались сведения о дальности проникновения соленых вод в Обскую губу, полученные в ЛПМИ в результате расчетов по численной модели (В.В.Иванов, А.З.Святский, 1987).

Для анализа пространственно-временной изменчивости элементов пресноводного баланса применялись различные приемы исследования временных рядов, в том числе корреляционный и спектральный анализ, полиномиальная аппроксимация, фильтры и разностные интегральные кривые. Все расчеты выполнялись на персональных ЭВМ типа Искра-236 и IBM-PC по стандартным и оригинальным программам.

Ниже приведены краткие сведения о приемах, использованных при оценках балансовых составляющих, а также о полученных при этом результатах.

#### Поверхностный приток в устьевую область

Суммарный приток поверхностных (речных) вод в рассматриваемый водоем формируется за счет внешнего и местного притока.

Под внешним притоком в настоящей работе понимается сток Оби на речной границе устьевой области (г.Салехард), под местным - сток непосредственно с территории водосбора устьевой области.

Расчет объемов внешнего притока осуществлялся по данным инструментальных наблюдений в пункте Салехард.

Оценка местного притока в устьевую область выполнялась раздельно для территорий с различной степенью обеспечения информацией о стоке.

Средняя сумма внешнего и местного притока речных вод в Обско-Тазовскую устьевую область составила около  $555 \text{ км}^3$  в год, при этом на долю обских вод приходится от 65 до 80% суммарного годового притока.

Из общего объема местного притока около 70% составляет сток крупных рек - Таза, Пура, Надьма. Примерно 80% речного стока поступает в устьевую область в теплый период года.

Многолетние колебания речного притока в устьевую область определяются, в основном, условиями увлажнения водосбора Оби, особенностью которых является преимущественно адвективный характер поступления тепла и влаги, а также низкая дренированность бассейна.

Длительные тенденции в изменчивости объемов речного притока в устьевую область связаны с особенностями многолетних колебаний продолжительности действия основных форм атмосферной циркуляции. В результате анализа трендовых составляющих в колебаниях речного стока в Обско-Тазовскую устьевую область была выявлена тенденция к увеличению стока Оби в течение двух последних десятилетий.

Межгодовые изменения речного притока в устьевую область носят ярко выраженный циклический характер.

#### Атмосферные осадки на акваторию

В качестве исходной информации для расчета балансового вклада атмосферных осадков в суммарный водообмен Обско-Тазовской устьевой области, были использованы многолетние ряды осадкомерных наблюдений, исправленные с учетом всех известных значимых погрешностей наблюдений (в том числе за счет ветрового недоучета и наметания "ложных" твердых осадков) (Н.Н.Брызгин, 1976).

Средний годовой объем атмосферных осадков, участвующих в водообмене, составил около  $20 \text{ км}^3$ , из которых 75% приходится на акваторию Обской губы.

Вследствие высокой повторяемости атмосферных осадков, охватывающих весь бассейн устьевой области, межгодовые колебания сумм осадков на акватории балансовых районов водоема в значительной мере синфазны.

В то же время, трендовые составляющие в северной и южной частях эстуария имеют противоположные знаки. Так, для южной части бассейна преобладающей является направленность на увеличение сумм осадков от 30-40-х годов к 80-м годам нашего столетия. В северных районах отмечена тенденция к некоторому снижению годовых и сезонных сумм атмосферных осадков.



### Аккумуляция пресных вод в чаше водоема

Процесс аккумуляции пресных вод в устьевой области эстуарного типа выступает в роли механизма, трансформирующего колебания входных потоков пресной влаги в изменения общих влагозапасов водоема и регулирующего интенсивность водообмена устьевой области с морем.

Отличительной чертой процессов аккумуляции, происходящих в эстуариях арктических морей, является то, что суммарный объем аккумуляции пресных вод за расчетный период времени (сезон, год), складывается из изменений водозапасов как за счет колебаний высоты уровня поверхности, так и вследствие перемещения морской динамической границы балансовой системы.

По данным натурных наблюдений, внутригодовые изменения местоположения южной границы гидрофронта в среднем составляют около 300 км.

Количественные оценки аккумуляционной составляющей водного баланса Обско-Тазовской устьевой области выполнялись по данным о морфометрических характеристиках водоема, интегральным кривым запасов водной массы и сведениям о дальности проникновения морских вод в северную часть Обской губы.

Согласно результатам проведенных расчетов, регулирование запасов пресных вод в устьевой области Оби в среднем на 97% обусловлено перемещением зоны раздела речных и морских водных масс. При этом, в холодный сезон, вследствие перемещения гидрофронта в южном направлении, имеет место заполнение "свободной" за счет уменьшения притока пресных вод части водоема солеными водными массами. В теплый период отмечается смещение гидрофронта в северном направлении, что увеличивает объем пресноводной части водоема.

Показано, что особенности сопряжения уровней поверхности реки и приемного водоема (моря) обуславливают то обстоятельство, что глубина эстуария мало зависит от величины прихода пресных вод в устьевую область, а определяется, в основном, колебаниями уровня моря.

Величина сезонных изменений влагозапасов в Обской губе составляет в среднем около  $75 \text{ км}^3$ , при этом сезонное регулирование влаги за счет колебаний фонового уровня воды не превышает  $2 \text{ км}^3$ .

### Ледообразование и ледотаяние

Ледяной покров Обско-Тазовской устьевой области является одним из элементов водного баланса, осуществляющих внутригодовое перераспределение пресной влаги водоема.

Для оценки объема пресной влаги, участвующей в фазовых переходах "вода-лед-вода", использовались материалы наблюдений стационарной гидрологической сети и многолетних экспедиционных исследований Амдерминского УГМ.

Средняя (взвешенная по площади) мощность ледяного покрова устьевой области на конец холодного сезона составила 152 см, соответственно запасы жидкой влаги —  $65 \text{ км}^3$ .

Пространственная изменчивость толщины льда в устьевой области определяется неоднородностью климатических и морфометрических характеристик балансовых районов, а также особенностями их гидрологического режима.

Межгодовая изменчивость мощности ледяного покрова в Обско-Тазовской устьевой области определяется как факторами регионального, так и планетарного масштаба. На фоне долговременных изменений запасов льда в устьевой области, обусловленных температурным фоном полушария, отчетливо проявляются флуктуации различной амплитуды и продолжительности, вызванные аномалиями температур воздуха в бассейне, высот снежного покрова на льду и притока речных вод в устьевую область.

### Водообмен с подземными водами

Подземный сток поступает в устьевую область двумя путями — с речным стоком и непосредственно через ложе и берега объекта.

В первом случае дренируемый поверхностными водами подземный сток входит в величину общего речного стока, и, следовательно, учитывается в водном балансе.

Величина непосредственно подземного стока в чашу водоема ориентировочно оценена по среднему модулю субмаринного притока арктической зоны. Объем подземного притока не превышает  $1,0 \text{ км}^3$  (около 0,3% от среднего запаса пресных вод) и может быть отнесен к суммарной погрешности расчета.

### Испарение с водной поверхности

Для определения объема испарения влаги с акватории Обско-Тазовской устьевой области использовалась полумпирическая формула ПТИ.



Для проверки достоверности результатов расчетов были использованы данные экспедиционных гидрологических и метеорологических наблюдений, выполненные автором в различных районах акватории Обско-Тазовской устьевой области.

Малая продолжительность безледоставного периода и низкая интенсивность испарения с водной поверхности обуславливают незначительную роль испарения как расходной части водного баланса.

В то же время, вследствие большой площади водной поверхности устьевого взморья и особенностей ветрового режима, абсолютная величина влаги испарившейся за теплый период велика и составляет около  $8 \text{ км}^3$ .

Для всех районов устьевой области в последние годы отмечается тенденция к некоторому увеличению объемов испарения с водной поверхности.

Основной чертой пространственного распределения испарения является уменьшение суммарных объемов испарения в направлении с юга на север при относительно малых градиентах изменений (в среднем  $7,0 \text{ мм}/100 \text{ км}$ ).

Внутригодовые колебания испарения с акватории устьевой области также имеют свои особенности. Максимум интенсивности испарения для южных районов области приходится на август и смещается для севера Обской губы на сентябрь-октябрь.

#### Отток пресных вод в Карское море

Водообмен Обско-Тазовской устьевой области с Карским морем, так же как и массоперенос между отдельными частями водоема, формируется под действием комплекса факторов, среди которых - поверхностный приток речных вод, разномасштабные колебания уровня моря, ледяной покров, а также плотностная неоднородность водной массы в северной части Обской губы.

В соответствии с балансовым подходом объем пресноводного оттока из устьевой области Оби и ее районов полностью определяется количеством пресной воды, поступившей в водоем, изменениями пресноводных запасов в границах объекта, а также объемами влаги, израсходованной на испарение, ледообразование и водопотребление.

Расчет объемов пресноводного оттока через границы балансовых районов и устьевой системы в целом проводился по уравнениям:

для холодного периода

$$V(t)_{\text{отт}} = V(t)_{\text{вп}} + V(t, \ell)_{\text{мп}} - V(t, \ell)_{\text{лд}} \pm \Delta W_{\text{акк}}$$

для теплого периода

$$V(t)_{\text{отт}} = V(t)_{\text{вп}} + V(t, \ell)_{\text{мп}} + V(t, \ell)_{\text{лд}} + (V(t, \ell)_{\text{ос}}^{\times} + V(t, \ell)_{\text{ос}}^{\tau}) - (I) - V(t, \ell)_{\text{исп}} \pm \Delta W_{\text{акк}}$$

где  $V_{\text{отт}}$  - отток пресных вод через границы балансовых районов,  $V_{\text{вп}}$  и  $V_{\text{мп}}$  - внешний и местный поверхностный приток;  $V_{\text{лд}}$  - объем жидкой влаги в ледяном покрове;  $V_{\text{ос}}^{\times}$ ,  $V_{\text{ос}}^{\tau}$  - атмосферные осадки холодного и теплого периодов на акваторию;  $V_{\text{исп}}$  - испарение с поверхности водоема;  $\Delta W_{\text{акк}}$  - аккумуляция (сработка) пресной влаги в границах балансового района;  $t$  - расчетный период;  $\ell$  - дальность проникновения соленых вод.

При оценке объемов выноса пресных вод через морскую границу балансовой системы использовались данные о среднем за расчетный балансовый период местоположении у дна изогалины 1‰ солености.

Необходимо подчеркнуть, что представление массопереноса между устьевой областью и морем в виде балансового оттока является допущением, сделанным в интересах и с учетом задач, поставленных в настоящей работе.

Полученные оценки объемов оттока являются показателями суммарного эффекта реального природного процесса водообмена между эстуарием и морем.

По сравнению с другими водными объектами суши (реками, озерами, водохранилищами), водообмен Обско-Тазовской устьевой области с внешней средой обладает рядом особенностей, обусловленных существованием открытой морфологической границы с морем и динамической зоны раздела пресных и соленых морских водных масс.

Средний объем стока через северную границу пресноводной части устьевой области составил: в холодный период - около  $108 \text{ км}^3$ , в теплый - около  $464 \text{ км}^3$ .

В качестве количественного показателя, иллюстрирующего особенности сезонного водообмена в отдельных балансовых районах, предложен коэффициент трансформации входного потока, равный отношению объемов поверхностного оттока пресной влаги на выходе из системы (балансового района) и суммарного потока вла-



ги на входе в систему (балансовый подрайон).

Коэффициент трансформации входного потока характеризует степень и направленность воздействия процесса аккумуляции (сработки) жидкой и твердой влаги в эстуарии на отток пресных вод в приемный водоем (табл.2).

Таблица 2

Среднегодовое величины коэффициентов трансформации входных потоков влаги (для балансовых районов устьевой области)

Район	Период	
	холодный	теплый
Придельтовый участок Оби	1,0	1,0
Дельта Оби	0,94	1,0
Юг Обской губы	0,70	1,0
Тазовская губа	0,22	0,98
Север Обской губы	1,98	0,96

В холодный период года величина оттока пресных вод через нижние границы придельтового участка Оби, ее дельты и юга Обской губы формируется в условиях низкого речного стока и интенсивных потерь влаги на ледообразование. По длине устьевой области с юга на север наблюдается уменьшение поверхностного оттока (коэффициент трансформации меньше единицы).

В теплый период для перечисленных районов свойствен транзитный характер водообмена, трансформация суммарного входного потока практически не происходит.

В северной части Обской губы, вследствие значительных объемов аккумуляции (сработки) пресной влаги, происходит существенная трансформация входного потока.

Так, в холодный период года величина объема пресноводного оттока в Карское море почти в 2 раза превышает объем водной массы, поступившей в водоем. При этом пресноводный отток примерно на 70% сформирован за счет влаги, накопленной в теплый сезон.

В теплый период года в северной части Обской губы, вследствие смещения среднего положения границы раздела пресных и соленых вод в сторону моря, происходит увеличение пресноводных запасов в чаше водоема, на что расходуется около 14% суммарного прихода влаги.

Водообмен между Тазовской и Обской губами в теплый период года обеспечивает поступление в северную часть Обской губы около 108 км<sup>3</sup> пресной воды.

В отдельные годы, в условиях низких температур воздуха, малого количества твердых осадков и низкого речного стока в Тазовскую губу, в холодный период отмечен компенсирующий переток влаги из Обской губы в Тазовскую (повторяемость таких ситуаций составляет в среднем около 20%).

В третьей главе приведены составленные автором уравнения пресноводного баланса Обско-Тазовской устьевой области и ее балансовых районов для отдельных лет и сезонов периода с естественным (ненарушенным) гидрометеорологическим режимом. Здесь же выполнены оценки пресноводных запасов устьевой области и скорости их полного и частичного обновления.

Уравнения водного баланса имеют следующую структуру: для холодного периода

$$V(t)_{вп} + V(t, \ell)_{мп} - V(t, \ell)_{лд} - V(t)_{отт} = \pm \Delta W_{акк}$$

для теплого периода

$$V(t)_{вп} + V(t, \ell)_{мп} + V(t, \ell)_{лд} + (V(t, \ell)_{ос}^x + V(t, \ell)_{ос}^T) - V(t, \ell)_{исп} - V(t)_{отт} = \pm \Delta W_{акк}$$

для балансового года

$$V(t)_{вп} + V(t, \ell)_{мп} + (V(t, \ell)_{ос}^x + V(t, \ell)_{ос}^T) - V(t, \ell)_{исп} - V(t)_{отт} = \pm \Delta W_{акк}^{(2)}$$

где все обозначения те же, что в формулах (1).

Ранее автором было установлено, что такие элементы водного баланса, как испарение со снега, конденсация влаги на поверхности снежно-ледяного покрова и водообмен с подземными водами могут не учитываться вследствие малых значений.

Средний объем внешнего поверхностного притока в устьевую область за холодный сезон составил 72,5 км<sup>3</sup>, местного притока с бассейна - 18,1 км<sup>3</sup>. Пресноводная масса в холодный период расходуется на ледообразование (около 58,5 км<sup>3</sup>) и на отток в Карское море (108 км<sup>3</sup>). В результате, средний объем сработки составляет около 75,4 км<sup>3</sup>.

Следует отметить особую роль процесса ледообразования в



водообмене арктического эстуария. Так, затраты влаги на ледообразование в холодный период года в среднем составляют 64% от суммарного прихода влаги.

Соотношения между элементами водного баланса отдельных балансовых районов при общих составляющих могут существенно различаться.

Для придельтового участка Оби характерно равенство величин притока вод на речной границе и оттока на границе с дельтой.

Местный приток, потери на ледообразование и русловое регулирование практически не отражаются на величине транзитного потока.

С увеличением показателя площади водной поверхности балансового района  $K(f) = \frac{F_0}{F}$  (где  $F_0$  - площадь зеркала водоема,  $F$  - площадь его водосбора) уменьшается проточность объекта, что отражается на соотношениях балансовых составляющих.

Так, для дельты Оби, при сохранении речного характера водообмена, в водном балансе возрастает роль затрат воды на ледообразование.

В значительно большей степени трансформирующая роль ледяного покрова проявляется в балансе вод устьевого взморья - Обской и Тазовской губ. На долю ледообразования в Обской губе приходится около 40% суммарных потерь пресной влаги, в Тазовской губе - 83%.

Важной особенностью водообмена устьевой области в холодный сезон является сработка части пресных вод, накопленных в предыдущий многоводный сезон. Объем сработки пресных вод в холодный период в среднем составляет около 70% объема поверхностного оттока в Карское море.

В теплый период года активность водообменных процессов в устьевой области значительно возрастает, как за счет увеличения речного притока, так и вследствие появления дополнительных элементов в водном балансе (испарения, атмосферных осадков, таяния снежно-ледяного покрова).

Средний за теплый период объем притока пресных вод в устьевую область составляет около  $546 \text{ км}^3$ , из них около  $333 \text{ км}^3$  - это приток Оби,  $131 \text{ км}^3$  - местный приток с водосбора,  $17,8 \text{ км}^3$  - атмосферные осадки на акваторию и  $63,9 \text{ км}^3$  - объем воды, выде-

ленной при таянии ледяного покрова в границах пресноводной части эстуария.

Вклад местной влаги в баланс пресных вод (местный приток, осадки и ледотаяние) возрастает по мере увеличения показателя площади водной поверхности. В целом, около 60% пресной влаги в теплый период года поступает в устьевую область через речную границу водоема. Объем пресной влаги, поступающей в водоем в результате таяния снежно-ледяного покрова, составляет в среднем около  $70,1 \text{ км}^3$  (или около 13% суммарного прихода пресных вод).

Расходная часть водного баланса устьевой области Оби в теплый период года на 93% формируется пресными водами, поступающими из Обской губы в Карское море (в среднем около  $464 \text{ км}^3$ ). Данное обстоятельство оказывает существенное воздействие на ледовый и гидрологический режим морской акватории.

Аккумуляция пресных вод в теплый период года осуществляется в северной части Обской губы, при этом объем сезонного накопления в среднем составляет около  $73 \text{ км}^3$  пресной влаги, на что расходуются около 14% суммарного объема поступивших пресных вод.

Общий приход пресной влаги в теплый период по сравнению с холодным сезоном возрастает более, чем в 6 раз, отток за пределы области - в 4,4 раза.

Результаты анализа сопряженности временных колебаний составляющих водного баланса устьевой области и ее районов показали, что колебания отдельных балансовых элементов имеют как индивидуальные, так и общие черты, и обусловлены действием факторов различного временного и пространственного масштаба.

Несмотря на различия в особенностях временной изменчивости отдельных элементов балансовой системы, отмечены общие закономерности колебаний этих величин, в особенности в низкочастотной области спектра. Данное обстоятельство связано с тем, что в условиях преимущественно адвективного характера тепловлагообеспечения территории бассейна, временная изменчивость его балансовых показателей во многом определяется закономерностями смены типичных форм атмосферной циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария. При этом воздействие макрофакторов проявляется как в формировании длительных тенденций в колебаниях элементов балансовой системы, так и в аномальности ее составляющих в



конкретные периоды времени.

В этой же главе помещены оценки сезонных и годовых пресноводных запасов Обско-Тазовской устьевой области и ее балансовых районов.

В холодный сезон в устьевой области Оби аккумулируется в среднем около 300 км<sup>3</sup> пресной влаги, в теплый - 360 км<sup>3</sup>.

Около 98% пресной влаги сосредоточено в устьевом взморье, из них 88% - в Обской губе.

Формирование водных запасов устьевой области происходит под воздействием большого числа факторов, основными из которых являются морфометрические характеристики, водообеспеченность расчетного периода и наличие открытой границы устьевой области с морем.

Функции временного регулирования ресурсов пресных вод Обско-Тазовской устьевой области осуществляет северная часть Обской губы. Юг Обской губы и Тазовская губа имеют практически неизменный объем пресноводных запасов, не зависящий от тепло-влажностности года.

Запасы пресных вод в Обско-Тазовской устьевой области испытывали тенденцию к понижению с конца 50-х до конца 60-х годов. Начиная с 1966-1968 года, в колебаниях водных ресурсов наблюдается тенденция к увеличению объемов пресноводных запасов.

В качестве интегральной характеристики совокупности процессов водообмена в Обско-Тазовской устьевой области выступает скорость или интенсивность обновления пресноводных запасов объекта.

Процесс последовательной замены пресных вод в чаше устьевого взморья описан в настоящей работе логарифмической формулой А.В.Караушева:

$$T = - \frac{2.3 W_t}{\sum V_{рск}} \lg(1 - W_{ост,t}) \quad (3)$$

где  $T$  - доля расчетного периода  $t$ , необходимая для замены  $(1 - W_{ост})$  части начального объема запасов пресных вод;  $W_t$  - пресноводный запас устьевой области;  $W_{ост,t}$  - доля начального объема, оставшаяся в водоеме;  $\sum V_{рск}$  - объем суммарного расхода пресных вод.

Согласно результатам расчетов, за холодный сезон замене подвергается около 42% пресноводной массы, в теплый около -73%.

Полная замена пресных вод в Обско-Тазовской устьевой области происходит примерно за 2,5 года.

Пространственная изменчивость пресноводных запасов устьевой области связана с различными условиями формирования водообмена отдельных балансовых районов.

Так, для придельтового района Оби отмечен речной (транзитный) характер переноса воды по длине объекта, для дельты Оби - переходный, с существенным замедлением водообмена в холодный период. Устьевое взморье является водоемом с замедленной интенсивностью водообмена как в теплый, так и в холодный период года.

В конце главы приводятся сведения о погрешностях составления балансовых уравнений, а также выводы о достоверности результатов балансовых расчетов и пригодности их использования в научных и практических целях.

В четвертой главе рассмотрены условия и механизм устойчивости водообмена и пресноводных запасов Обско-Тазовской устьевой области при естественных и антропогенных изменениях факторов внешней среды.

Признание целостности устьевой балансовой системы обуславливает необходимость анализа и учета ее интегральных характеристик. Наиболее важным свойством балансовой системы является ее устойчивость - как свойство системы реагировать на внешние воздействия.

Способы количественных и качественных оценок устойчивости природных систем разнообразны, более того, вероятно, только комплекс показателей может претендовать на достаточно полное описание этого свойства (А.А.Ляпунов, 1970; В.Д.Федоров, 1974, 1980).

На первом этапе количественного анализа устойчивости балансовой системы необходимо определить понятия нормы и аномальности в состоянии системы.

В качестве способа ограничения диапазона природной изменчивости параметров балансовой системы принята эмпирическая статистическая норма. Статистическая норма различной обеспеченности позволяет установить, насколько нынешнее состояние балансовой системы (по принятым показателям) характерно для ее естественного ненарушенного состояния.



Выход рассматриваемого показателя (например, скорости обновления водозапаса) за пределы нормального состояния с определенной вероятностью указывает на существенное изменение естественных условий формирования водообмена.

Область допустимого (нормального) состояния элементов водного баланса в настоящей работе была ограничена по формуле:

$$V_n(t)_{min} = V_{n_0} - K_p \sigma_{V(t)} \quad (4)$$

$$V_n(t)_{max} = V_{n_0} + K_p \sigma_{V(t)}$$

где  $V_n(t)$  - допустимые пределы естественного (нормального) состояния рассматриваемого показателя водообмена;  $V_{n_0}$  - статистическая норма;  $K_p$  - множитель толерантности для различных вероятностей соответствия показателя  $V(t)$  норме;  $\sigma_{V(t)}$  - среднее квадратическое отклонение показателя.

На основании анализа соотношений между объемами суммарного поступления и расходования пресной влаги в устьевую область, а также потоками влаги и изменениями пресноводных запасов, в настоящей работе предложены показатели, иллюстрирующие в количественной форме устойчивость водообмена балансовой системы.

Отмечено, что особенности сопряжения уровней поверхностей эстуария и Карского моря обуславливают слабую зависимость среднегодового наполнения (глубины) водоема от водообеспеченности года. Изменение величин сезонных и годовых запасов пресных вод определяется, прежде всего, перемещением по длине устьевой области границы раздела пресных и соленых вод.

При этом, внутри балансового года за счет сезонного накопления и сработки пресноводной массы осуществляется перераспределение части влаги между теплым многоводным и холодным маловодным сезонами, что стабилизирует во времени колебания выходного потока системы.

В то же время, наблюдается действие механизма восстанавливаемости - чем больше сработка накопленных в чаше водоема пресных вод в маловодный период, тем больше аккумуляция в многоводный сезон.

Аналогичный эффект наблюдается и в межгодовых колебаниях водозапаса устьевой области. В работе показано, что межгодовые изменения водозапаса направлены на возвращение объемов аккумулярованных в устьевой области пресных вод в состояние равнове-

сия. Наибольшие изменения общих пресноводных влагозапасов устьевой области за серию маловодных (многоводных) лет могут быть приняты за один из показателей естественного состояния водообмена.

В данной главе высказаны прогностические соображения о будущем состоянии пресноводного баланса и водных ресурсов Обско-Тазовской устьевой области в условиях усиления антропогенного воздействия.

При этом учитывались возможные изменения балансовых составляющих как в результате влияния человеческой деятельности в бассейне водоема, так и под воздействием антропогенного изменения климата.

На основе методики преобразованных водных балансов ГТИ (Г.А.Плишкин, 1983), а также результатов оценок региональных изменений увлажненности Западной Сибири по линейной эмпирико-статистической модели (К.Я.Винников, П.Я.Гройсман, 1979), автором сделаны оценки возможных изменений пресноводного баланса и запасов пресных вод устьевой области на период до 2000 года.

В качестве сценариев антропогенного воздействия принимались два случая:

1. Хозяйственная деятельность в бассейне Оби находится на уровне прогнозируемых объемов водопотребления на 1990 и 2000 годы, при неизменном глобальном температурном фоне (средней приземной температуре воздуха Северного полушария);

2. При условиях водопотребления в бассейне Оби, изложенных в предыдущем сценарии, средняя многолетняя температура воздуха Северного полушария повышается на 0,5°C (начало 90-х годов) и на 1,0°C (начало XXI века) по сравнению с современным состоянием (прогноз ГТИ).

В табл.3 представлены вероятные значения элементов водного баланса в случае глобального потепления климата, а также, для сравнения - баланс при естественных (ненарушенных) условиях.

Для учета степени влияния хозяйственной деятельности в бассейне Оби на баланс пресных вод в Обско-Тазовской устьевой области использовались сведения о прогнозируемых уровнях водопотребления (ГТИ), согласно которым суммарное влияние всех видов хозяйственной деятельности на территории водосбора приведет к уменьшению годового стока в г.Салехарде в 1990 году на



Таблица 3

Перспективные балансы пресных вод в Обско-Тазовской устьевой области при различных вариантах потепления климата

Элемент	Норма, км <sup>3</sup>	T-T <sub>0</sub> =0,5°C		T-T <sub>0</sub> =1,0°C	
		км <sup>3</sup>	% нормы	км <sup>3</sup>	% нормы
Приток Оби	397	411	3,5	425	7,0
Приток Пура и Таза	81,7	87,8	7,5	93,9	15,0
Местный приток	63,4	68,1	7,4	72,8	14,8
Атмосферные осадки	16,9	18,2	7,7	19,5	15,4
Испарение	6,33	6,84	8,1	7,35	16,1
Отток в Карское море	553	578	4,5	603	9,0
Объем пресных вод	331	333	0,6	334	0,9
Скорость обновления	1,69	1,76	4,1	1,83	8,2

22,3 км<sup>3</sup>, в 2000 году - на 21,3 км<sup>3</sup>.

Анализ результатов оценок изменений балансовых составляющих устьевой области с учетом как антропогенного потепления климата, так и хозяйственной деятельности в бассейне показал, что при прогнозируемом уровне антропогенного воздействия к началу 90-х годов существенных изменений в водообмене Обско-Тазовской устьевой области с окружающей средой не произойдет. Климатические изменения баланса пресных вод будут уравновешиваться воздействием хозяйственной деятельности в бассейне Оби.

При дальнейшем потеплении климата (повышение средней температуры полушария на 1,0°C) роль климатического фактора в изменениях водного баланса устьевой области возрастет. Вероятно общее увеличение поступлений пресной влаги примерно на 6% относительно нормы. Абсолютная величина увеличения объема выноса пресной влаги в Карское море составит около 30 км<sup>3</sup>.

Вследствие хозяйственного воздействия на гидрологический режим Оби (в ее нижнем и среднем течении), изменения водного баланса устьевой области ожидаются меньшими, чем могли бы быть при действии лишь климатического фактора. Запасы пресных вод в устьевом взморье водоема практически не изменятся.

Таким образом, можно утверждать, что вероятные изменения пресноводных запасов и объемов оттока вод в Карское море до конца XX века не превысят 5%, как в случае реализации первого, так и второго сценария развития климата.

В случае продолжения глобального потепления (рост температуры более 1,0°C) вероятные изменения в водном балансе будут более существенными.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты и выводы, полученные при исследовании закономерностей формирования водного баланса и водных ресурсов Обско-Тазовской устьевой области.

Главным результатом исследования можно назвать концептуальную модель внутреннего и внешнего водообмена устьевой области эстуарного типа, включающую в себя данные анализа устьевой балансовой системы с элементных, пространственных и факторных позиций.

Сведения о современном и перспективном водном балансе Обско-Тазовской устьевой области, запасам пресных вод и скорости их обновления могут быть использованы научными, проектными и производственными организациями для обоснования работ по освоению и охране водных ресурсов Обского бассейна, а также для исследования термического, химического и биологического режимов устьевого водоема и прилегающей акватории Карского моря.

Можно рекомендовать применение предложенного подхода к исследованию водообмена Обско-Тазовской устьевой области и для других устьевых областей арктической зоны.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Паролов М.В. Водные ресурсы Пур-Тазовский устьевой области в периоды различной влагообеспеченности /Аркт.и антаркт.НИИ. - Л., 1989. - 12 с. - Деп.в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД.

2. Паролов М.В. Водный баланс и водные ресурсы Обско-Тазовской устьевой области /Аркт.и антаркт.НИИ. - Л., 1989. - 15 с. - Деп.в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД.

3. Пространственно-временная изменчивость минимального стока рек ЕТС в летне-осенний сезон / (в соавторстве) // Вопросы гидрологических расчетов и охрана пресных вод. - Л., 1986. - С.3-10. - Межвуз.сб./Ленингр.политехнический ин-т; Вып.94.

4. Итоги и перспективы изучения гидрологического режима Енчсейской устьевой области в целях обеспечения круглогодичной навигации / (В соавторстве) // Материалы IV Всесоюзного совещания-семинара по гидрологии устьев рек. - М., 1990. - С.80-81.