

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Российский государственный гидрометеорологический университет»
(РГГМУ)

На правах рукописи

УДК 556.55(043.5)(574)

Жумангалиева Зария Маратовна

ОЗЕРНЫЙ ФОНД КАЗАХСТАНА

Специальность 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, профессор
Мякишева Наталия Вячеславовна

Санкт-Петербург – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	4
Глава 1 Общие сведения об озерах Казахстана.....	11
1.1 Распространение озер и состояние их изученности.....	11
1.2 Общая характеристика озер	19
1.3 Климат и увлажненность территории Казахстана.....	22
Глава 2 Особенности морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана.....	38
2.1 Оценка распределения морфометрических характеристик естественных озер Казахстана	38
2.2 Соотношения между различными морфометрическими характеристиками в зависимости от показателя формы озерной котловины и отметок абсолютных высот.....	55
2.3 Оценка распределения гидрохимических характеристик.....	68
Глава 3 Многокритериальная классификация озер по условиям формирования их внешнего водообмена.....	72
3.1 Расчет коэффициентов внешнего водообмена.....	72
3.2 Морфометрические индексы внешнего водообмена.....	77
3.3 Климатические индексы внешнего водообмена.....	89
3.4 Многокритериальная классификация озер по условиям формирования внешнего водообмена.....	91
Глава 4 Многокритериальная оценка качества озерных вод.....	97
4.1 Характеристика озер Щучинско-Боровской курортной зоны.....	97
4.2 Многокритериальная оценка качества вод озер Щучинско- Боровской курортной зоны.....	99
Заключение.....	111
Список сокращений и условных обозначений.....	114
Список литературы.....	116

Приложение А.....	132
Приложение Б.....	148
Приложение В.....	152
Приложение Г.....	156

ВВЕДЕНИЕ

21 век современной цивилизации, по прогнозам экспертов, станет временем обострения политических и социально-экономических конфликтов в борьбе не только за энергетические и экологические, но и за ресурсы пресных вод Земли. Казахстан, являясь девятой по площади территорией в мире с разнообразным рельефом и климатическими условиями, обладает крайне ограниченными и расположенными неравномерно ресурсами питьевой воды – на 1 км² страны специалисты оценивают наличие менее 40 тыс. м³ речной воды. На протяжении десятилетий наблюдается тенденция к дефициту воды, что связывается с увеличивающейся антропогенной нагрузкой на водные экосистемы, изменением климата и увеличением сопредельными с Республикой Казахстан государствами водозабора с трансграничных рек.

Наряду с активными исследованиями настоящего и будущего водообеспеченности Республики (речной сток, подземные и ледниковые воды, водохранилища), существует недостаток полной информации о состоянии озерного фонда Казахстана (за исключением изучаемых отдельно уникальных водных объектов: Каспийское море, Аральское море, озеро Балхаш и т.д.).

Озеро – водоем замедленного водообмена, а относительно исследуемой аридной области является конечным звеном гидрографической сети, которое очень чутко реагирует на изменения окружающей среды. Изменения увлажнения территории, равно как хозяйственная деятельность являются причинами изменений размеров озер во времени, что выражается в колебаниях лимнологических характеристик, определяющих гидрологический режим водоемов.

На территории огромной страны насчитывается более 48 000 естественных озер (Муравлев, 1973), из которых около 90% являются малыми с площадью менее 1 км². Систематическое исследование водных объектов проводилось преимущественно в 1950 – 1980 гг. За эти годы был накоплен обширный материал натурных данных. Но значительная часть озер до

настоящего времени остается неизученной, ввиду особенностей географических условий распространения, недостаточности и неэффективности работы по сбору и систематизации данных, а затем и анализу дальнейшего использования имеющихся озерных ресурсов.

В связи с этим, принимая во внимание задачи Государственной программы управления водными ресурсами Казахстана (Указ Президента Республики Казахстан от 04.04.2014 №786), актуальными являются анализ распределения и уточнение оценок количественных и качественных характеристик озер Казахстана, ресурсы которых при комплексном подходе могут быть рационально и эффективно использованы в различных отраслях экономики государства.

Поэтому **целью** исследования является оценка состояние естественных озер Казахстана на основании морфометрических, гидрологических и гидрохимических характеристик.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. Выявить особенности пространственного распределения естественных озер на территории Казахстана.
2. Получить зависимости между количеством расположенных на территории Казахстана озер и различными морфометрическими характеристиками (площадь поверхности озера, площадь водосбора озера, объем озера и др.).
3. Выявить соотношения между различными морфометрическими характеристиками естественных озер Казахстана и получить зависимости объема озера от его площади, площади озера от площади его водосбора для разных показателей формы котловины и отметок абсолютных высот.
4. Оценить суммарные (площадь и объем) и «удельные» (коэффициент озерности, количество площади и объема озер, приходящиеся на одного жителя страны) показатели озерного фонда Казахстана.

5. Оценить внешний водообмен озер зоны недостаточного увлажнения с учетом влияния на него активных и адаптивных факторов, а также разработать многокритериальную классификацию озер по условиям формирования внешнего водообмена.
6. Получить многокритериальную оценку качества озерных вод.

Объектами исследования являются естественные озера Казахстана.

Предмет исследования – морфометрические, гидрологические и гидрохимические особенности состояния озерного фонда Казахстана.

Исходные материалы. Для решения поставленных задач использовались следующие данные:

- натурные морфометрические и гидрохимические данные по 3 380 озерам Казахстана, собранные в глобальной лимнологической базе данных WORLDLAKE;
- данные испарения (E , мм) и осадков (P , мм), снятые с карт атласа Мирового водного баланса 1974 г. и отнесенные к центрам водосборов озер;
- данные экологического мониторинга озер Щучинско-Боровской курортной зоны с 2002 по 2010 гг. (озера Боровое, Щучье, Большое Чебачье): гидрофизические и гидрохимические показатели, уровень токсического загрязнения водоема.
- ряды средних месячных и годовых значений температуры воздуха (T , °C) и осадков (P , мм). Данные получены по результатам наблюдений на 6 метеорологических станциях для 6 водохозяйственных бассейнов за период наблюдений с 1940 по 2005 или 2012 гг.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы регрессионного и кластерного анализа, метод рандомизированных сводных показателей, методы линейной и низкочастотной фильтрации Баттерворта, методы теории порядковых статистик (квартильный анализ).

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплексная оценка озерного фонда Казахстана на основе морфометрических и гидрохимических характеристик:

1.1 Закономерности распространения естественных озер Казахстана в зависимости от значений их морфометрических и гидрохимических характеристик.

1.2 Закономерности соотношений морфометрических характеристик озерных котловин различного генезиса.

2. Многокритериальная классификация озер Казахстана по условиям формирования их внешнего водообмена.

3. Многокритериальная оценка качества озерных вод.

Научная новизна.

1. Впервые для естественных озер Казахстана подтверждена функциональная зависимость между их количеством и размерными (площади озер A и озерных водосборов F , объемы озер V , соленость s и др.) и безразмерными (удельный водосбор F/A , показатель изрезанности береговой линии S_d , коэффициенты удлиненности) морфометрическими и гидрохимическими характеристиками озер Казахстана.

2. На основании полученных зависимостей впервые рассчитаны уточненные «суммарные» и «удельные» озерные оценки для территории Казахстана.

3. Впервые получены зависимости объемов озер V от их площади A , площади озера A от площади водосбора F для разных показателей формы котловины и разных отметок абсолютных высот.

4. Впервые рассчитаны морфометрический (MM) и климатический индексы (CL) внешнего водообмена озер, а также предложена многокритериальная классификация их по внешнему водообмену (на примере озер Северного Казахстана).

5. Впервые получена многокритериальная оценка качества природных вод (на примере озер Щучинско-Боровской курортной зоны: Боровое, Щучье, Большое Чебачье).

Теоретическая значимость диссертационного исследования. Получены новые фундаментальные знания:

- о распределении размерных и безразмерных морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана, о степенных зависимостях между количеством расположенных на территории Казахстана озер и морфометрическими и гидрохимическими характеристиками, о функциональных зависимостях между значениями морфометрических характеристик озер различного генезиса;

- о возможности многокритериальной классификации озер зоны недостаточного увлажнения по внешнему водообмену (выбранному в качестве гидрологической характеристики), о потенциале зоны недостаточного увлажнения к формированию внешнего водообмена озер по морфометрическому и климатическому индексам;

- о возможности реализации метода многокритериального оценивания качества вод.

Практическая значимость. Полученные функциональные зависимости и соотношения из-за ограниченности выборки исследованных озер позволяют дать экспертную оценку о распределении морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана, в том числе и для неизученных водных объектов. Исходя из выявленных закономерностей, могут быть расширены возможности использования дистанционных методов исследования водных объектов.

Рассчитанные суммарные и «удельные» оценки озерного фонда Казахстана дают представление о состоянии поверхностных водных объектов Казахстана.

Получены оценки качества вод активно используемых в рекреационной и хозяйственной деятельности озер Щучинско-Боровской курортной зоны. Полученная информация представляет исходный материал для принятия решений в области оценки, прогноза и управления ограниченными водными ресурсами озерного фонда государства.

Научная обоснованность и достоверность результатов обеспечивается использованием в качестве информационной основы сведений из глобальной лимнологической базы данных WORLDLAKE, дополненной материалами автора, а также картографических данных, материалов государственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды. Применялись методы математической обработки данных наблюдений.

Апробация работы. Тема диссертации была включена в план работы кафедры гидрологии суши РГГМУ. Результаты работ докладывались и обсуждались на итоговых сессиях Ученого Совета гидрологического факультета РГГМУ (Санкт-Петербург, 2012 – 2014 гг.), IV международной молодежной научной конференции «ЭКОЛОГИЯ – 2011» (в рамках Международной конференции «Развитие академической науки на родине М.В. Ломоносова», Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, июнь 2011), конференции "Общие географические закономерности Земли: взгляд молодого ученого" (в рамках VIII Большого географического фестиваля 2011 года, организованного Санкт-Петербургским государственным университетом, Санкт-Петербург, 2011), Первом Евразийском междисциплинарном форуме Eurasian Multidisciplinary Forum EMF – 2013 (Тбилиси, октябрь 2013), VII Всероссийском гидрологическом съезде (Санкт-Петербург, ноябрь 2013), VII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Институт Водных проблем РАН, Москва, декабрь 2013), 6-ой Европейской конференции молодых специалистов водного сектора «Восток + Запад» (The International Water Association, Стамбул, май 2014), Межрегиональной научно-практической конференции студентов, магистров и аспирантов «Вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов» (Пермский гос. нац. исслед. университет, Пермь, ноябрь 2014).

Основные результаты по теме диссертации представлены в 8 работах, из них 3 статьи опубликованы и одна статья принята к публикации в

рецензируемых журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, 5 статей в трудах международных и российских конференций.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОЗЕРАХ КАЗАХСТАНА

1.1 Распространение озер и состояние их изученности

На обширных пространствах Казахстана рассеяно озер значительное количество озер, принадлежащих южному озерному поясу Северного полушария [45, 62]. По данным Г.Г. Муравлева (1973) насчитывается 48262 озера, из которых 45248 относятся к малым, площадью менее 1 км². Особенно многочисленны озера в северной части Казахстана, где много замкнутых понижений.

Сильная изменчивость климатических условий и водного баланса по годам и сезонам обуславливает непостоянство площади и режима озер, общей минерализации и солевого состава их вод. Водный, а также солевой балансы озер в основном связаны с зональными условиями. В соответствии с нарастанием засушливости с севера на юг доля бессточных озер и минерализация озерных вод к югу увеличивается.

Большая часть озер, главным образом небольших по площади зеркала, размещена в лесостепи и северной части степной зоны, их много также в поймах крупных рек и дельтовых участках бессточных рек, теряющихся в песках [64]. В степной полосе, в горах и по долинам крупных рек преобладают пресные озера, а в полупустынях, пустынях и межгорных впадинах – соленые [118].

Под данным [93, 94, 132] суммарная площадь поверхности озер Северного Казахстана более 19 тыс. км². Здесь насчитывается 11195 пресных озер и 2513 соленых с площадью зеркала от 0.01 до 50 км² и больше.

В Центральном Казахстане пресные и солоноватые озера чаще всего можно встретить в Кокшетауском, Баянаульском, Каркаралинском горных массивах и в низовьях рек. В полупустынной и пустынной зонах озера распространены по долинам рек, особенно в низовьях, в местах рассеивания речного стока.

Основная масса озер размещается на абсолютных высотах от 100 до 350 м, преимущественно в рыхлых четвертичных и третичных отложениях. Водосборы имеют большей частью площадь от 10 до 320 км², но в зонах полупустынь и пустынь она резко возрастает. Средняя глубина большинства озер не более 2 м, максимальная – от 7 до 54 м.

Озера Казахстана можно разделить по их географическому положению на десять главных групп (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Природно-лимнологические области [79, 94]:

- 1 – Тоболо-Ишимская, 2 – Прииртышская, 3 – Тургайская,
- 4 – Центрально-Казахская, 5 – Прикаспийская,
- 6 – Урало-Мугоджарская, 7 – Закаспийско-Северо-Аральская,
- 8 – Арало-Балхашская, 9 – Зайсанская, 10 – Горные

По происхождению котловин в Казахстане наиболее характерны тектонические, эоловые, просадочные, пойменные, дельтовые и завальные озера. К тектоническим относятся Каспийское и Аральское моря, Балхаш, Алаколь, Зайсан, Маркаколь, Тенгиз с Кургальджином, некоторые небольшие озера Казахского мелкосопочника и высокогорных хребтов [118].

В образовании небольшого числа котловин в Кокшетауских, Каркаралинских и других невысоких горах большую роль сыграли тектонические процессы и неравномерность выветривания различных горных пород. Например, озерные котловины, расположенные в гранитном массиве Кокшетауской возвышенности, отражают специфические условия выветривания гранитов в аридных областях. Берега их гранитные, скалистые, нередко поросшие сосновым лесом круто спускаются под воду. Глубины некоторых озер значительны: Щучье – 31 м, Большое Чебачье – 37 м, Малое Чебачье – 15.5 м. Рельеф дна отдельных озер неровен, встречаются скальные острова [93, 94].

На равнинах и в низкогорьях многие озера возникли во впадинах, образованных выдуванием мелких частиц с поверхности земли (эоловые озера) или в результате оседания грунта от выщелачивания и вымывания лежащих ниже пород (просадочные). В таких впадинах скапливаются воды от таяния снегов, а еще чаще – от разлива рек. Многие из этих озер соленые и даже самосадочные. Обычно они не глубокие, с топкими извилистыми берегами, поросшими солянками и полынями. Большинство из них к лету или к осени пересыхают. Эоловые озера встречаются на плато Устюрт и Бетпак-Дала, а просадочные – на Западно-Сибирской равнине.

В северном Казахстане многие озера образовались в ложбинах древних рек. На Тургайском плато образование небольших котловин и степных блюдеч связано с суффозией и просадкой, а местами с древним термокарстом мерзлых толщ. Такие озера поддерживаются снеговым и грунтовым питанием. Обычно эти озера располагаются цепочкой и имеют продолговатую форму. Одна из таких «цепочек» занимает древнюю ложбину реки Тургай. Начинается она озером Кушмурун, включает озеро Сарыкопа и заканчивается группой мелких озер, наполняющихся водой при разливах реки Тургай. Вся эта длинная цепь с пресными и солеными водоемами, с берегами, утопающими в зарослях тростника или опушенными солончаками, тянется более чем на 500 км.

Другая цепь озер тянется по древнему руслу реки Иртыш из северных районов Казахстана в Омскую область России. Озера эти небольшие и соленые, отчего вся их цепь известна под названием Горькой линии.

Однако больше всего в Казахстане дельтовых и пойменных озер. Они образовались вследствие непостоянства русла рек, текущих в рыхлых породах, и развития речных стариц. Только в дельте реки Иле 9513 таких озер. Также много таких озер в низовьях рек Сырдарья, Чу, Каратал и других больших рек.

Большинство озер равнин и низкогорий очень небольшие, площадью менее 1 км². Они составляют 90 % общего числа озер страны. Среди них много временных: весной они переполнены водой, а к осени пересыхают, превращаясь в соры и солончаки. Большинство озер лишены стока, что при огромной испаряемости способствует их минерализации. Поэтому на равнинах Казахстана преобладают озера с солоноватой и соленой водой, а в особенно сухих районах – самосадочные, содержащие самые разнообразные соли.

От водоемов равнин резко отличаются горные озера, которых много на Алтае, в Джунгарском и Заилийском Алатау. Обычно они лежат в долинах подпруженных горными обвалами или моренными отложениями ледников, и тектонических впадинах. Завальные озера встречаются на разных высотах, а моренные – в районах бывшего и современного оледенения. Большинство горных озер невелики, но довольно глубокие с живописными, большей частью облесенными берегами. Вода в них холодная, пресная и чрезвычайно прозрачная.

С развитием ирригационного, промышленного и гидроэнергетического строительства в Казахстане появилось много искусственных водоемов – больше 4000 прудов и несколько десятков водохранилищ – Бухтарминское на реке Иртыш, Чардаринское на реке Сырдарья, Сергеевское на реке Ишим и Каратомарское на реке Тобол [63, 79, 99-101, 118].

В истории изучения озер Казахстана можно выделить три основных периода.

Первый период – до начала 90-х годов 19 в. Озера исследовались в связи с развитием рыболовства, водного транспорта и соляных промыслов. Для этого периода характерно накопление фактического материала.

Этот период начался со времени античной географии, когда появились самые общие, далеко не точные сведения, касающиеся Аральского и Каспийского морей. В начале 18 века появились первые обобщающие картографические материалы в виде схематических чертежей и их описаний, например «Книга большому чертежу», «Чертежная книга Сибири» С. Ремезова, 1701 год. В ней отмечены крупнейшие озера Казахстана – Балхаш, Алаколь, Зайсан, Кургальджин и др.

Создаются местные очаги изучения и исследования природы, населения и хозяйства, в том числе озер, в связи с организацией отделений Русского географического общества в 1858 г. в Оренбурге, затем Семипалатинске, Уральске, Верном. В 1859 г. Вышла книга В.П. Кеппена «Главнейшие озера и лиманы России», в 1862 – 1867 гг. – пятитомный «Географо-статистический словарь» П.П. Семенова, содержащий ценные данные по гидрографии страны, в 1866 – 1877 гг. карта Генштаба в масштабе 40 верст в одном дюйме, на которой было обозначено большое количество озер (из них выделены соляные). Большое теоретическое значение имеет труд русского ученого географа и климатолога А.И. Воейкова (1884 г.). Им впервые определена связь колебаний уровня озер с их водным балансом, выведено уравнение водного баланса.

Во время экспедиций и путешествий накапливались разнообразные сведения об озерах Казахстана. Это труды П. Семенова-Тян-Шанского, Н. Северцева, А. Голубева, В. Обручева, Г. Потанина, А. Красовского, М. Лемпицкого, И. Словцова, В. Гаркема, Л. Берга, П. Игнатова, И. Жилинского, А. Козырева и многих других.

Во второй период – 90-е годы 19 в. – Великая Октябрьская социалистическая революция – расширялись и укреплялись теоретические и

методические основы озероведения как науки. Наряду с общим проводилось специализированное изучение озер – биологическое, гидрологическое и гидрохимическое. Образцом такого комплексного является работа Л.С. Берга на Аральском море (1889 – 1902 гг.) и озеро Балхаш (1903 г.). Им приводится идея о связи озер с климатом и ландшафтом.

Гидробиологические исследования в Казахстане в этот период носили чисто познавательный характер.

Третий период изучения озер начался после Великой Октябрьской социалистической революции. В это время были выдвинуты новые задачи, связанные с проблемой использования новых ресурсов, регулирования стока, строительства и эксплуатации крупных водохранилищ и гидроэлектростанций.

Проводятся исследования озер и озерных районов в интересах хозяйственного использования их природных богатств (Аральское море, Балхаш, Алакольские озера, Маркаколь, Зайсан, Кургальджин).

В 30-е годы Соляной лабораторией и Научно-исследовательским институтом галургии АН СССР в озерах Казахстана были выявлены запасы химического сырья и определены возможности их использования. В 1928 – 1931 гг. под руководством П.Ф. Домрачева впервые были проведены комплексные исследования озера Балхаш. Изучены батиметрия, грунты, термика, химический состав воды, дана характеристика планктона и бентоса.

Организованная в 1932 г. Казахстанская база АН СССР, в состав которой входили зоологический и ботанический секторы, положило начало планомерному изучению флоры и фауны пресноводных водоемов. В этот период были начаты работы по перестройке гидрофауны водоемов.

Большое значение в изучении водных объектов Казахстана имело издание «Водного кадастра», начатое в 1931 г.

В 1940 г. вышла монография Г.В. Никольского «Рыбы Аральского моря», в которой описаны биология 20 видов рыб, состав и распределение планктона и бентоса, их роль в питании рыб. В течение десяти лет (с 1941 г.) изучением соляных озер Казахстана занимался Е.В. Посохов.

С 1941 по 1943 гг. на озере Зайсан работала экспедиция во главе с В.А. Догелем. С.С. Печникова, Т.А. Сенина и К.В. Смирного вели исследование флоры, планктона и бентоса, по выявлению рыбных ресурсов этого богатого водоема и внесли предложение о реконструкции рыбного промысла на реке Черный Иртыш и озере Зайсан. Н.Г. Некрашевич и К.В. Смирнова изучали рыбные ресурсы, а также паразитов рыб на Алакольских озерах.

В годы войны на водоемах Казахстана работала группа биологов и ученых: С.А. Зернов, Н.Н. Воронихин, В.А. Догель, В.И. Жадин, Я.Я. Цееб, Н.А. Акатова, В.Я. Панкратова, Г.Х. Шапошникова и другие, изучавшие растительный и животный мир. После войны гидробиологические и ихтиологические исследования озер возглавляет Институт зоологии АН КазССР. Над изучением гидробиологического режима озер, реконструкцией, обогащением их ихтиофауны и ее кормовой базы работают Н.П. Серов, А.С. Малиновская, А.И. Горюнова, С.К. Тютеньков, В.И. Ерещенко, В.А. Киселева, П.Ф. Мартехов, В.Я. Пильгук, И.К. Иванов.

В 1951 – 1954 гг. под руководством Г.В. Лопатина велись исследования на Аральском море. В 1949 – 1955, 1958, 1962, 1963 и 1965 – 1969 гг. в прикаспийской низменности, на плато Устюрт, в Приаралье и Северном Казахстане проводила комплексные работы возглавляемая А.В. Шнитниковым Прикаспийская (затем Казахстанская) экспедиция Лаборатории озероведения АН СССР. В связи с намеченным строительством Капчагайской ГЭС на реке Иле в 1955 – 1957 гг. этой лабораторией и рядом других научно-исследовательских учреждений изучались озеро Балхаш, дельта реки Иле и ее озера.

После Великой Отечественной войны наряду с изучением больших водоемов начали исследовать малые озера, особенно в связи с освоением целинных и залежных земель. Значительная работа в этом направлении проведена экспедицией ГГИ в 1954 – 1956 гг. под руководством А.П. Богородицкого. С 1954 г. периодические малые озера Казахстана изучаются учеными кафедры физической географии КазГУ под руководством

Г.Г. Муравлева. С 1957 г. ведут изучение озер сотрудники Сектора географии АН КазССР Т.Р. Омаров, Е.А. Казанская, Т.М. Трифонова, П.И. Кравченко. Под руководством П.П. Филонца с 1963 г. Сектор географии АН КазССР проводит исследование озер Центрального, Южного и Восточного Казахстана: составлен кадастр озер, изучены батиметрия, гидрологический режим, иловые отложения, термика и химический состав вод (в том числе содержание микроэлементов). Отдельные элементы (свойства) озер Казахстана изучались ГГИ, Институтами озероведения и географии АН КазССР и др.

Наряду с экспедиционными исследованиями проведены обобщения региональных материалов в трудах И.В. Молчатнова, А.В. Николаева, А.И. Дзенс-Литовского, Н.С. Курнакова, М.Г. Валяшко, Н.Н. Пальгова, Е.В. Посохова (по соляным озерам), А.В. Шнитникова, П.Ф. Домрачева, К.В. Курдюкова, Н.Г. Рыбина, В.И. Коровина, А.И. Мун, Г.Г. Муравлева, А.Г. Поползина, В.А. Лезина, Т.Р. Омарова, П.П. Филонца, Е.А. Казанской, Р.Д. Курдина и др.

В настоящее время, уже в 21 веке, согласно опубликованным работам современных авторов [7, 43, 53, 77, 102, 123-126, и др.] в Казахстане активно исследуются озера Иле-Балхашский водохозяйственной системы, озера Арало-Сырдарьинского бассейна (Институт Географии Республики Казахстан), озера Щучинско-Боровской курортной зоны Акмолинской области (РГП «Казгидромет»), в рамках исследований водно-биологических ресурсов озер КазНИИРХ опубликован ряд обзорных работ [27-30], также выделяются исследования [24-26] водно-болотных угодий (дельта реки Урал и прилегающее побережье Каспия, Тенгиз-Коргалжынская и Алаколь-Сасыккольская системы озер) на территории особо-охраняемых природных зон Казахстана.

1.2 Общая характеристика озер (на основе базы данных WORLDLAKE)

В данном разделе проанализированы 3380 в разной степени изученных озер, что составляет примерно 7% естественных озер Казахстана. Большинство данных взято из лимнологической базы WORLDLAKE [106, 108, 112, 147-149], содержащей обширные лимнологические и др. данные для $5.1 \cdot 10^4$ естественных и $8.1 \cdot 10^3$ искусственных озер мира. Сведения по ЕОК в базе WORLDLAKE собраны, в основном, из неопубликованных материалов Гидрометслужбы СССР и из [93, 94, 130-133].

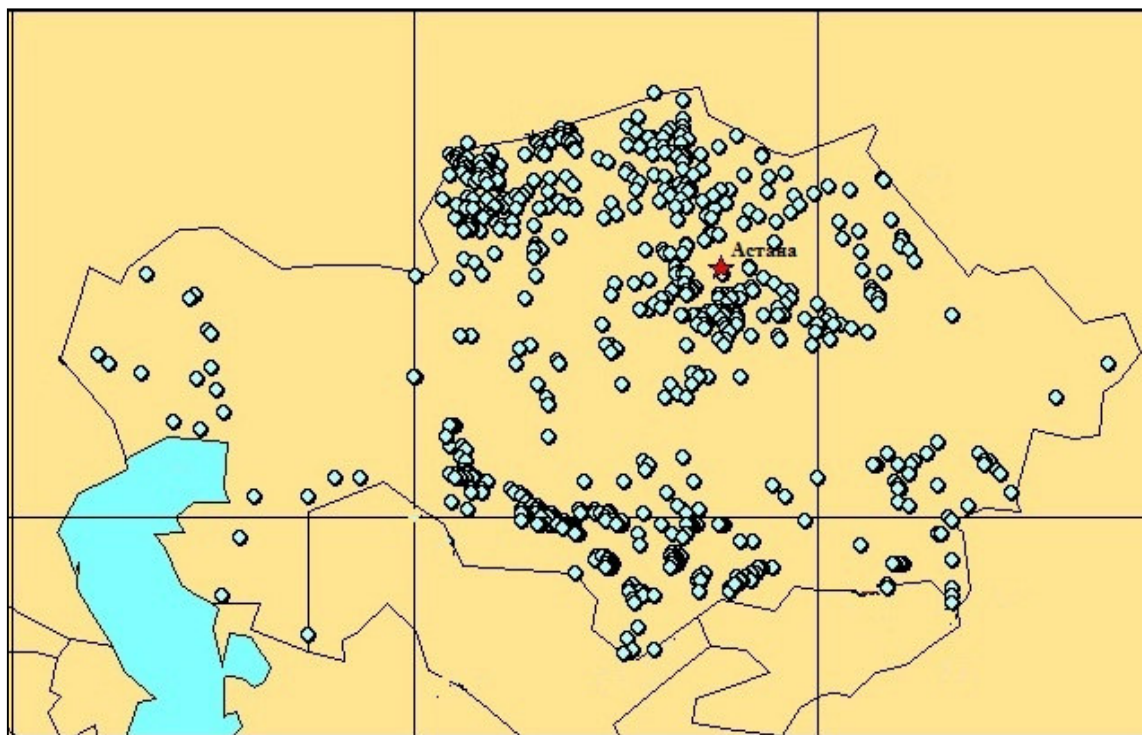
Географическое распределение. Разнообразие рельефа и условий увлажнения обуславливает неравномерность распределения ЕОК. Потому сравнительно мало озер в пустынных западных и восточных районах, существенно больше их на севере и в горах. Часто озера отделены одно от другого сотнями километров или, напротив, расположены так густо, что образуют озерные области, например, Шалкарскую, Камыш-Самарскую и др. На Северный Казахстан приходится 45% озер, на Центральный и Южный – 36%, на другие регионы – 19% (рисунок 1.2а).

Административное распределение. Административно Казахстан делится на 14 областей. Больше половины ЕОК (1960 или 58% рассматриваемых озер) расположено в Костанайской, Акмолинской и Павлодарской областях (рисунок 1.2б). Значительное число ЕОК сосредоточено также в Северо-Казахстанской и Актюбинской областях: 330 (10%) и 242 (7%) озера соответственно. При этом озера почти отсутствуют в Мангистаусской и Южно-Казахстанской областях (21 озеро, <1%).

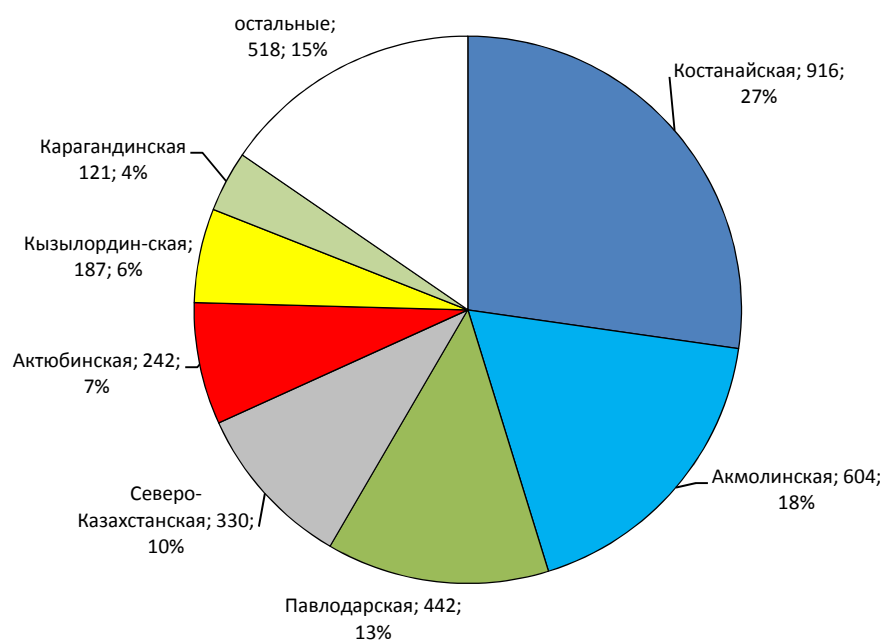
Высота над уровнем моря. Высота Z , известная для 3058 ЕОК (90%), меняется от -132 м гиперсоленого оз. Батыр ($47^{\circ}12'$ с.ш., $52^{\circ}02'$ в.д., 140 км^2), расположенного на полуострове Мангышлак, до 3064 м тянь-шанского ледникового пресноводного оз. Кара-Коль ($42^{\circ}30'$ с.ш., $79^{\circ}52'$ в.д., 0.5 км^2). Распределение озер по высоте (рисунок 1.2в) показывает, что 0.2% и 2.6% (6 и

88 озер) всех ЕОК расположены в горах на $Z > 2000$ м и ниже уровня моря и соответственно. Большинство первых располагаются на юго-востоке, а вторых

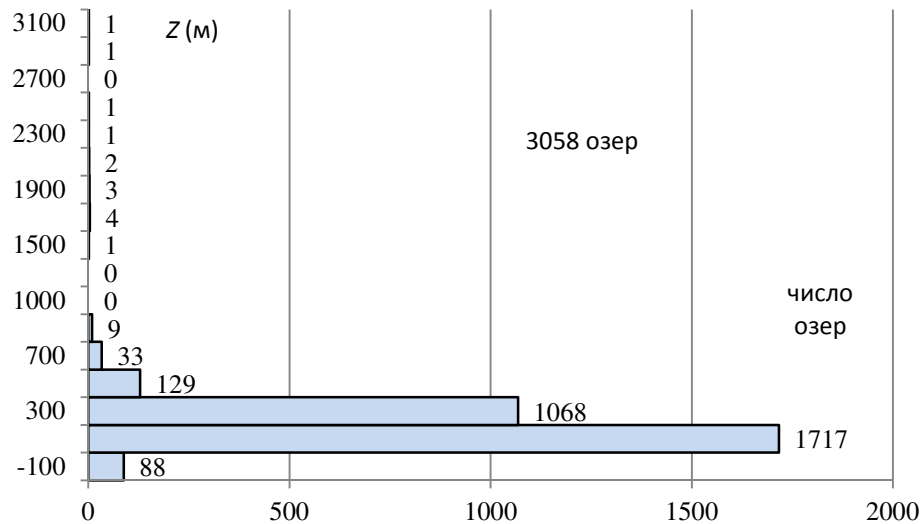
—



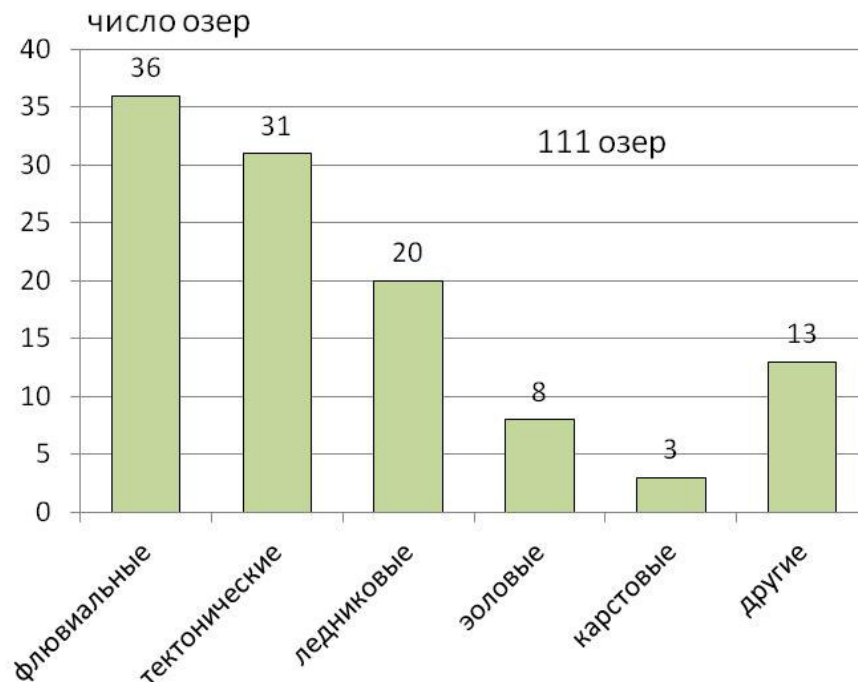
а



б



В



Г

Рисунок 1.2 - Распределения озер Казахстана: 3 380 озер по географическим координатам, административным областям, 3 058 озер по высоте над уровнем моря Z и 111 озер по генезису котловин

на востоке Казахстана. При этом подавляющее большинство ЕОК (2785 озер или 82%) лежит на высотах 0-400 м, при высоте $Z > 400$ м число ЕОК быстро убывает с ростом Z .

Генезис котловин. Среди 111 ЕОК с установленным генезисом котловин преобладают флювиальные, тектонические и ледниковые (87 озер или 78%) (рис. 1.2г). Кроме того, присутствуют карстовые и эоловые озера. К категории «другие» на рис. 2.1г отнесены озера смешанного генезиса: ледниково-тектонические, флювиально-ледниковые и др. Среди флювиальных озер доминируют старицы, крупнейшее из которых кызылординское солоноватое оз. Ашичи-Коль ($45^{\circ}08'$ с.ш., $67^{\circ}15'$ в.д., 74 км^2). Среди ледниковых озер выделяются моренные и каровые, а крупнейшее из них акмолинское солоноватое оз. Желанды ($53^{\circ}04'$ с.ш., $69^{\circ}18'$ в.д., 8.9 км^2).

Характер внешнего водообмена. Для 1659 ЕОК (49% рассматриваемых) известен характер внешнего водообмена: сточные/бессточные. При этом подавляющее большинство (1520 озер) устойчиво бессточные. Имеются также ЕОК с сезонным стоком и несколько десятков постоянно сточных. К последним относятся пресноводные высокогорные озера, например, тектоническое оз. Большое Алматинское ($43^{\circ}03'$ с.ш., $76^{\circ}58'$ в.д., 0.44 км^2) и глубокое лавинное запрудное оз. Иссык ($45^{\circ}15'$ с.ш., $77^{\circ}28'$ в.д., 0.86 км^2).

1.3 Климат и увлажненность территории Казахстана

Климат Казахстана определяется солнечной радиацией, атмосферной циркуляцией и подстилающей поверхностью [64, 118].

На равнинах Казахстана четко выражена зональность в распределении тепла и влаги, которая проявляется в заметном увеличении с севера на юг количества поступающего солнечного тепла и уменьшении атмосферных осадков, что и определяет характер расположения природных зон. Зональность распределения важнейших элементов климата осложняется лишь Центрально-Казахстанским мелкосопочником и горными хребтами, протягивающимися на юге и востоке страны.

Согласно обзорам мониторинга изменения климата Казахстана [57], публикуемого РГП «Казгидромет», за период 1941 – 2013 гг. наблюдается потепление (за счет повышения среднемесячной, среднесезонной и среднегодовой температуры воздуха). Отмечено, что «если в период 1940-2008 гг. среднегодовая температура увеличивалась в среднем по Казахстану на 0.29 °C/10 лет, то в период 1976-2008 гг. на 0.50 °C/10 лет». Также заметно различие изменения среднегодовой температуры воздуха в отдельных регионах Казахстана: «за период 1940-2008 гг. составлял от 0.29 °C/10 лет (Арало-Сырдарьинский бассейн) до 0.39 °C/10 лет (Тобол-Тургайский бассейн). В последнее тридцатилетие рост среднегодовых температур более значительный – от 0.43 °C/10 лет (Шу-Таласский бассейн) до 0.66 °C/10 лет (Арало-Сырдарьинский бассейн)».

Там же [57] отмечается, что «в период 1941-2013 гг. годовые суммы осадков незначительно уменьшались – в среднем по Казахстану на 0.6 мм/10 лет или примерно на 0.4 % нормы/10 лет. Слабая тенденция (статистически незначимая) к уменьшению среднего по Казахстану количества осадков наблюдается в весенний, летний и осенний сезоны».

Таким образом, литературными источниками и различными авторами отмечается [11, 22, 63, 77, 137 и др.] тенденция к потеплению климата на территории страны.

Одной из важнейших характеристик климата является увлажненность территории [3]. Вместе с температурными условиями она определяет тип растительности и всего географического ландшафта, решающим образом влияет на характер многих сторон быта и хозяйственной деятельности человека, в первую очередь на сельскохозяйственное производство. Увлажнение территории определяет также местные водные ресурсы, возмещающие потенциально происходящее испарение.

Степень увлажнения в качественном аспекте характеризуется понятиями сухость (аридность) и влажность (гумидность) климата той или иной

территории, зоны, области и т.д. Для количественной характеристики степени увлажнения используются разнообразные показатели (индексы, коэффициенты) сухости или влажности климата.

Показатели сухости (влажности) климата прямо или косвенно отражают соотношение между средними за многолетний период (год, сезон, месяц) осадками (P , мм) или испаряемостью с открытой поверхности пресных вод или поверхности почвы (E_o , мм) (первая группа показателей), либо характеризуют отношение осадков к температуре воздуха (T °С) (вторая группа показателей). При этом температура учитывается непосредственно или в линейной комбинации с некоторыми числовыми константами.

Первая группа показателей включает индексы Иванова, Высоцкого, индекс сухости и радиационный индекс сухости Будыко, индекс аридности Стенца, индекс гумидности (аридности) климата Торнтвейта и др [3]. Числовой смысл показателей этой группы понятен: при избытке увлажнения ($P > E_o$) индексы >1 , при недостатке ($P < E_o$) индексы <1 .

Ко второй группе показателей относят индекс Де-Мартона, показатели Кеппена, Волобуева, индекс засушливости Сазонова, индексы Педя и т.д.

Переходным между первой и второй группой показателей является, например, широко применяемой в агроклиматологии гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова [3, 81, 138].

Методы анализа исходных данных

Для характеристики климата и увлажненности территории в работе использовались единичные показатели – температура воздуха, атмосферные осадки, и интегральный показатель – индекс Де-Мартона, являющийся отношением суммы осадков за год к средней годовой температуре воздуха:

$$\alpha^M = P / (T \text{ °С} + 10) \quad (1.1)$$

Значения $\alpha^M < 15$ характерны для аридных зон.

Для обработки и анализа привлекаются ряды средних годовых значений и ряды значений для холодного и теплого периодов года.

Каждый временной ряд рассматривается как реализация случайного процесса $x(t)$, за основную вероятностную характеристику которого принимается функция распределения $F(x_p)$ и её квантили x_p [127]. Наибольший интерес представляют пять квартилей $x_{\min}$, $x_{0,25}$, $x_{0,5}$, $x_{0,75}$, $x_{\max}$.

Алгоритмы оценивания перечисленных характеристик следующие: $x_{\min}$, $x_{\max}$ – крайние члены ранжированного (выстроенного в порядке возрастания или убывания) ряда; $x_{0,5}$ – медиана, которая при неизвестном законе распределения вычисляется по формулам:

$$x_{0,5} = \begin{cases} x_{(n+1)/2}, & \text{если } n - \text{нечетное;} \\ 0,5(x_{n/2} + x_{n/2+1}), & \text{если } n - \text{четное;} \end{cases} \quad (1.2)$$

где $x_{0,25}$, $x_{0,75}$ – медианы соответствующих половин ранжированного ряда.

Анализ крайних членов $x_{\min}$, $x_{\max}$ требует чрезвычайной осторожности, поскольку они подвержены сильному влиянию выборочной изменчивости, обусловленной ошибками измерения исходных величин. Значительно большей устойчивостью обладает размах $R = x_{\max} - x_{\min}$, характеризующий ширину выборочного распределения данных.

Медиана $x_{0,5}$, являясь центральным членом ранжированного ряда, характеризует центр распределения данных в выборке. Набор квартилей $x_{0,25}$, $x_{0,5}$, $x_{0,75}$ фиксирует “норму” изменчивости анализируемого параметра, $x_{0,25}$ – нижний, а $x_{0,75}$ – верхний ее пределы. Величина:

$$Q = x_{0,75} - x_{0,25}, \quad (1.4)$$

где Q – интерквартильное расстояние, служит мерой разброса в пределах “нормы”.

Значения анализируемого параметра, выходящие за квартили $x_{0,25}$, $x_{0,75}$, рассматриваются как особые; значения, выходящие за верхний ($x_{\text{в}}$) и нижний ($x_{\text{н}}$) внутренние барьеры, вычисляемые по формулам:

$$x_{\text{в}} = x_{0,75} + 1,5 Q, \quad (1.5)$$

$$x_n = x_{0,25} - 1,5 Q, \quad (1.6)$$

интерпретируются как экстремальные значения.

В качестве оценки центра распределения данных в выборке в работе также рассчитываются среднее арифметическое значение m и трёхсреднее значение T^* , а в качестве оценок масштаба распределения – дисперсия D или стандарт σ . Трёхсреднее значение вычисляется по известной формуле Тьюки [127]:

$$T^* = 0,25(x_{0,25} + 2x_{0,5} + x_{0,75}), \quad (1.7)$$

Сопоставление среднего m с медианой $x_{0,5}$ и стандарта σ с интерквартильным расстоянием $0,74Q$ дает возможность получить предварительную информацию о типе и параметрах распределения данных в выборке. При симметричности распределения среднее и медиана равны с точностью до выборочной изменчивости. Чем асимметричнее распределение, тем больше отклоняется среднее от медианы.

Сопоставление оценок среднего и медианы, стандарта и интерквартильного расстояния удобно проводить графически. Для этого на график наносятся точки, абсциссы которых соответствуют среднему или стандарту, а ординаты – медиане или интерквартильному расстоянию. Если точки группируются около биссектрисы координатного угла, можно считать, что соотношения Q к σ и $x_{0,5}$ к m такое же, как у нормального распределения данных.

В качестве другой характеристики асимметрии полезно использовать следующий параметр:

$$A_s = [(x_{0,75} - x_{0,5}) - (x_{0,5} - x_{0,25})]/(2Q), \quad (1.8)$$

Расчеты доверительных интервалов A_s , вычисленные по смоделированным нормальным рядам показали, что выборку целесообразно считать симметричной, если $-0,31 < A_s < 0,25$, имеющей левую асимметрию, если $A_s < -0,31$ или правую при $A_s > 0,25$.

Периоды локальной нестационарности временных рядов гидрометеорологических характеристик целесообразно выделять с

использованием низкочастотной фильтрации Баттерворта [18, 82, 138]. При этом рекомендуется применять цифровую тангенсную низкочастотную фильтрацию. Это связано с тем, что тангенсная фильтрация обладает такими преимуществами, как простота вычисления коэффициентов передаточной функции фильтра и большая крутизна её амплитудно-частотной характеристики вблизи частоты среза.

Одной из исчерпывающих характеристик фильтра является его передаточная функция $H(\omega)$, которая рассчитывается по формуле:

$$H(\omega) = Y(\omega)/X(\omega) = \sum_{k=0}^K \beta_k z^{-k} / (1 + \sum_{l=1}^L \alpha_l z^{-1}), \quad (1.9)$$

где $z = \exp(i\omega\Delta)$; Δ – интервал дискретизации рядов $\{x_i\}$ и $\{y_i\}$; $X(\omega)$ и $Y(\omega)$ – их Фурье-изображение.

Передаточная функция фильтра $H(\omega)$ выражает связь между частотными представлениями рядов $\{x_i\}$ и $\{y_i\}$ и имеет значения в комплексной области, т.е. $H(\omega)$ можно представить в виде:

$$H(\omega) = |H(\omega)| \exp(i\varphi(\omega)), \quad (1.10)$$

$$H(\omega) = (b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2})^{M/2} / \prod_{m=1}^{M/2} (1 + a_{1m} z^{-1} + a_{2m} z^{-2}), \quad (1.11)$$

где величина $M = 2 M_1$ называется порядком передаточной функции или порядком фильтра.

При таком представлении функцию $|H(\omega)|$ называют амплитудно-частотной характеристикой фильтра. В каждой точке частотного диапазона она выражает отношение амплитуд гармоник отфильтрованного и неотфильтрованного ряда с данной частотой. Функцию $\varphi(\omega)$ называют фазово-частотной характеристикой фильтра. Она выражает зависимость сдвига фаз от частоты в отфильтрованном и неотфильтрованном рядах.

Тангенсные цифровые фильтры Баттерворта имеют передаточную функцию вида (1.11), что позволяет применять вышеуказанный метод фильтрации, обладающий рекуррентным способом вычисления

отфильтрованного ряда и возможностью повышения порядка фильтра за счет увеличения числа уравнений.

Тангенсный низкочастотный фильтр Баттерворта порядка M имеет амплитудно-частотную характеристику:

$$|H(\omega)| = 1 / (1 + [\operatorname{tg}(\omega\Delta/2) / \operatorname{tg}(\omega_c\Delta/2)]^{2M})^{1/2}, \quad (1.12)$$

где ω_c – частота среза.

Ряды средних годовых значений осадков (P , мм), температуры воздуха (T °С) шести метеостанций Казахстана (таблица 1.1), а также ряды перечисленных характеристик для холодного и теплого периодов года приведены на рисунках 1.2 – 1.4, а результаты их квартильного анализа – в таблице 1.2. Были использованы данные Северо-Евразийского климатического центра [38].

Таблица 1.1 – Данные метеорологических станций

Наименование станции	Координаты	Водохозяйственный бассейн	Расчетный период	
			Температура, °С	Осадки, мм
Уральск	51°15′ с.ш., 51°17′ в.д.	Урало-Каспийский	1940-2005	1940-2005
Костанай	53°13′ с.ш., 63°37′ в.д.	Тобол-Тургайский	1940-2012	1940-2012
Атбасар	51°49′ с.ш., 68°22′ в.д.	Ишимский	1940-2005	1940-2005
Зайсан	47°28′ с.ш., 84°55′ в.д.	Иртышский	1940-2005	1940-2005
Балхаш	46°48′ с.ш., 75°05′ в.д.	Балхаш-Алакольский	1940-2005	1940-2005
Караганды	49°48′ с.ш., 73°09′ в.д.	Нура-Сарысуский	1940-2005	1940-2005

Таблица 1.2 – Статистические характеристики многолетней изменчивости показателей климата и увлажненности осредненных для территории Казахстана:
а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

Ст. Атбасар (Ишимский ВХБ) 1940 – 2005 гг.							
Название	Температура воздуха T , °C			Осадки P , мм			Индекс Де-Мартона α_m , мм/°C
	a	b	c	a	b	c	a
X_{min}	-1.3	-18.0	8.5	9.8	5.3	11.2	10.3
$X_{0.25}$	0.7	-14.6	11.4	20.0	10.7	24.3	22.0
$X_{0.5}$	1.5	-13.3	12.3	24.3	15.9	29.0	24.7
$X_{0.75}$	2.6	-11.8	13.1	26.9	22.4	34.0	28.3
X_{max}	3.9	-7.9	14.5	38.9	32.6	50.4	46.2
R	5.2	10.1	6.0	29.1	27.3	39.2	35.9
Q	1.8	2.8	1.7	6.9	11.6	9.7	6.3
X_g	5.3	-7.6	15.5	37.2	39.8	48.6	37.7
X_H	-2.0	-18.9	8.9	9.7	-6.7	9.7	12.6
T^*	1.6	-13.2	12.3	23.9	16.2	29.1	24.9
A_s	0.07	0.01	-0.04	-0.12	0.05	0.01	0.06
m	1.6	-13.2	12.2	23.7	16.5	28.9	24.8
D	1.5	4.9	1.4	33.7	48.4	63.2	41.4
Ст. Зайсан (Иртышский ВХБ) 1940 – 2005 гг.							
X_{min}	2.1	-15.7	12.6	14.0	7.5	13.5	11.0
$X_{0.25}$	3.7	-12.6	15.1	20.9	12.0	26.0	18.3
$X_{0.5}$	4.5	-11.4	15.6	25.9	16.2	32.7	21.1
$X_{0.75}$	5.2	-10.4	16.4	28.7	18.9	36.1	24.4
X_{max}	6.5	-7.3	18.6	41.2	29.9	58.9	36.0
R	4.4	8.4	6.0	27.1	22.4	45.4	25.0
Q	1.5	2.3	1.3	7.8	6.9	10.1	6.1
X_g	7.4	-6.9	18.4	40.4	29.3	51.3	33.4
X_H	1.5	-16.1	13.1	9.1	1.7	10.8	9.2
T^*	4.5	-11.4	15.7	25.3	15.8	31.9	21.2
A_s	0.003	-0.04	0.10	-0.14	-0.11	-0.16	0.03
m	4.4	-11.4	15.7	25.8	15.9	32.9	21.6
D	1.2	3.6	1.2	35.5	24.5	92.2	25.6
Ст. Караганды (Нура-Сарысуский ВХБ) 1940 – 2005 гг.							
X_{min}	0.4	-14.5	9.8	14.2	4.4	11.2	14.0
$X_{0.25}$	2.1	-11.9	12.2	21.4	14.6	23.6	19.8
$X_{0.5}$	3.1	-10.3	12.9	26.2	19.2	31.1	23.2
$X_{0.75}$	3.9	-9.5	13.5	31.1	26.4	38.6	28.8
X_{max}	5.2	-5.9	15.7	45.0	36.2	61.4	43.1
R	4.8	8.6	5.9	30.8	31.8	50.1	29.1
Q	1.8	2.4	1.3	9.7	11.9	15.0	9.0
X_g	6.5	-5.9	15.4	45.7	44.3	61.0	42.3

X_H	-0.5	-15.5	10.2	6.8	-3.3	1.2	6.3
T^*	3.1	-10.5	12.9	26.2	19.8	31.1	23.7
A_s	-0.07	-0.15	-0.08	0.003	0.11	0.002	0.12
m	3.0	-10.5	12.7	26.7	20.0	31.4	24.7
D	1.3	3.6	1.3	48.2	65.6	97.6	46.4
Ст. Балхаш (Балхаш-Алакольский ВХБ) 1951 – 2005 гг.							
X_{min}	3.4	-12.7	13.7	4.4	5.3	1.7	3.6
$X_{0.25}$	5.1	-9.8	15.7	9.2	8.8	8.5	6.9
$X_{0.5}$	5.9	-8.8	16.4	11.0	11.2	10.3	8.4
$X_{0.75}$	6.4	-8.0	16.8	13.2	14.8	13.3	10.3
X_{max}	8.0	-4.2	18.4	30.8	36.4	26.8	24.7
R	4.6	8.5	4.7	26.4	31.0	25.1	21.1
Q	1.3	1.8	1.1	3.9	6.1	4.8	3.4
X_g	8.3	-5.2	18.5	19.0	23.9	20.4	15.4
X_H	3.2	-12.5	14.0	3.3	-0.3	1.4	1.8
T^*	5.8	-8.8	16.3	11.1	11.5	10.6	8.5
A_s	-0.13	-0.02	-0.13	0.05	0.09	0.12	0.06
m	5.7	-8.8	16.2	11.5	12.2	10.9	8.8
D	1.0	3.0	1.0	16.5	25.0	23.9	10.7
Ст. Уральск (Урало-Каспийский ВХБ) 1940 – 2005 гг.							
X_{min}	1.9	-13.1	12.6	14.8	4.5	11.6	11.0
$X_{0.25}$	4.4	-9.5	15.1	22.0	16.8	21.4	16.7
$X_{0.5}$	5.3	-8.3	15.6	26.7	22.6	28.1	20.6
$X_{0.75}$	6.2	-6.7	16.4	31.0	29.6	34.3	25.7
X_{max}	8.0	-3.7	18.6	46.4	72.0	55.5	34.2
R	6.1	9.4	6.0	31.6	67.5	43.9	23.2
Q	1.8	2.8	1.3	9.1	12.8	13.0	9.0
X_g	8.9	-2.6	18.4	44.7	48.9	53.8	39.3
X_H	1.7	-13.7	13.1	8.3	-2.5	1.9	3.2
T^*	5.3	-8.2	15.7	26.6	22.9	28.0	20.9
A_s	-0.02	0.06	0.10	-0.03	0.05	-0.02	0.07
m	5.3	-8.2	15.7	27.2	24.0	29.5	21.5
D	1.5	4.9	1.2	52.2	112.5	103.2	36.4
Ст. Костанай (Тобол-Тургайский ВХБ) 1940 – 2012 гг.							
X_{min}	-0.5	-16.4	9.9	14.9	3.9	16.0	14.3
$X_{0.25}$	1.6	-13.8	12.2	21.4	12.1	26.8	20.4
$X_{0.5}$	2.4	-12.0	12.9	25.8	17.4	32.6	25.4
$X_{0.75}$	3.6	-10.4	13.7	29.8	21.5	38.4	29.6
X_{max}	5.1	-7.4	15.7	42.1	31.0	60.1	53.0
R	5.6	8.9	5.8	27.2	27.1	44.1	38.7
Q	2.0	3.4	1.5	8.4	9.3	11.6	9.2
X_g	6.7	-5.3	16.0	42.5	35.5	55.8	43.5
X_H	-1.5	-18.9	9.8	8.8	-1.9	9.3	6.5
T^*	2.5	-12.0	12.9	25.7	17.1	32.6	25.2
A_s	0.08	-0.03	-0.003	-0.02	-0.07	-0.005	-0.04
m	2.8	-11.7	13.2	26.3	17.8	32.3	25.0
D	1.6	4.2	1.2	43.7	33.3	101.2	56.7

Сопоставление среднего значения m с медианой $X_{0,5}$ и стандарта σ с интерквантильным расстоянием $0,74Q$ показало, что распределение средних годовых значений рассматриваемых показателей климата для всех шести метеостанций близко к нормальному (Таблица 1.2).

Для годовых температуры воздуха (ст. Атбасар и Уральск) значения m и T^* совпадают и составляют 1.6 и 5.3 °С соответственно. Аналогично и для температуры за холодный период (XI – III) для ст. Атбасар, Зайсан, Караганды, Балхаш и Уральск (-13.2, -11.4, -10.5, -8.8 и -8.2 °С соответственно). Совпадают также и значения температуры за теплый период (IV – X): ст. Зайсан (15.7 °С) и ст. Уральск (15.7 °С). Расхождения между m , T^* и $P_{0,5}$ находятся в пределах точности их измерений.

Для температуры воздуха за холодный период времени для ст. Зайсан и ст. Балхаш, а также для ст. Уральск для годовой температуры все рассчитанные оценки центра распределения данных в выборке (m , T^* и $T_{0,5}$) совпадают и составляют -11.4, -8.8 и 5.3 °С соответственно (таблица 1.2). Аналогичная ситуация наблюдается и для температуры теплого периода года (IV – X). Значения m , T^* и $T_{0,5}$ равны между собой (21,5 °С). Различия перечисленных оценок для холодного периода года (XI – III) минимальны и находятся в пределах их выборочной изменчивости.

Следует обратить внимание на хорошую согласованность рядов годовых значений осадков со значениями для теплого периода (ст. Атбасар, Зайсан, Караганды, Уральск, Костанай), а также – на хорошую согласованность рядов годовых значений температуры воздуха со значениями для холодного периода года для ст. Атбасар (Приложение А).

Полученные результаты (рисунок 1.3-1.4, Приложение А) дают основания для выделения тенденций (трендов) во временной изменчивости показателей климата и увлажненности территории.

Низкочастотная фильтрация Баттерворта рядов средних годовых значений T , P , α^M позволяет выделить периоды, когда наблюдались тренды на повышение и понижение значений.

Для средних годовых значений температуры воздуха для ст. Костанай тренд на повышение заметен с начала наблюдений. Это повышение связано в большей степени с ростом температуры теплого периода года, чем холодного (рисунок 1.3).

Резкое изменение в структуре ряда средних годовых значений осадков (рисунок 1.4) для ст. Костанай произошло с начала 2000 г. Появились два заметных периода колебаний их среднегодовых значений. К тому же, очевидна стала тенденция уменьшения этих значений за счет уменьшения количества осадков в теплый период года.

Средние годовые значения температуры воздуха станций Атбасар, Зайсан, Караганды, Уральск повышаются в течение наблюдаемого отрезка времени, преимущественно с середины 1980 гг. Повышение температуры воздуха также связано в большей степени с ростом температуры теплого периода года, чем холодного (рисунки А1, А4, А7, А13 Приложения А). Только для станции Балхаш отмечается это повышение с ростом температуры за счет холодного периода года (рисунок А10 Приложения А).

В наблюдаемый период времени для станций Атбасар, Караганды, Балхаш, Уральск отмечается тренд на уменьшение количества осадков и увлажненности территории (рисунки А2, А8, А11, А14 Приложения А). Среднее годовое количество осадков станции Зайсан увеличивается с течением времени (рисунок А5 Приложения А).

Ряды годовых значений индекса Де-Мартона шести водохозяйственных бассейнов за период с 1940 по 2005/2012 гг. приведены на рисунке 1.5 (для ст. Костанай) и рисунках А3, А6, А9, А12, А15 Приложения А для станций Атбасар, Зайсан, Караганды, Балхаш и Уральск соответственно. Результаты их квартильного анализа приведены в таблице 1.2.

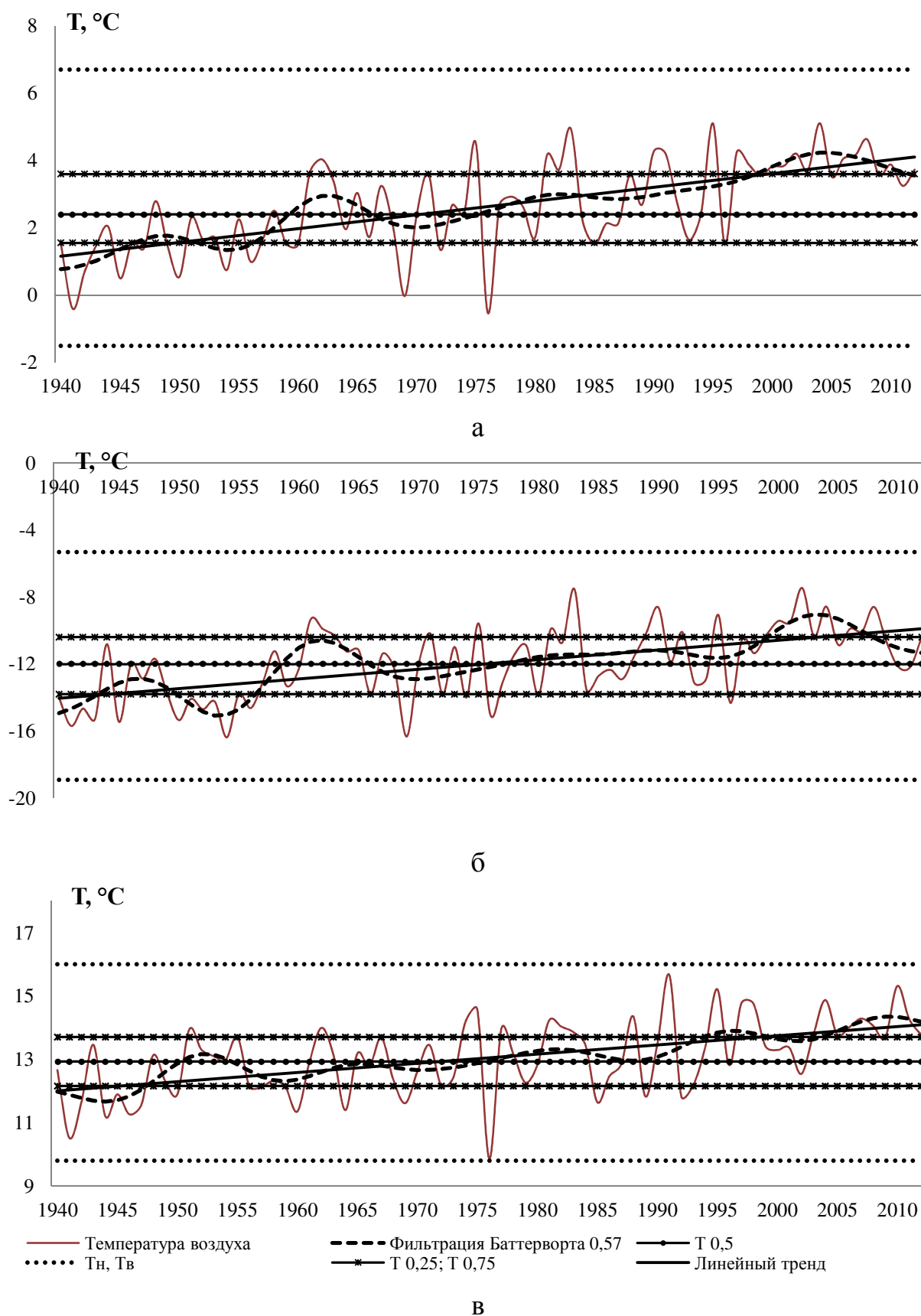


Рисунок 1.3 – Ежегодные значения температуры воздуха для ст. Костанай (Тобол-Тургайский ВХБ) с 1940 по 2012 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

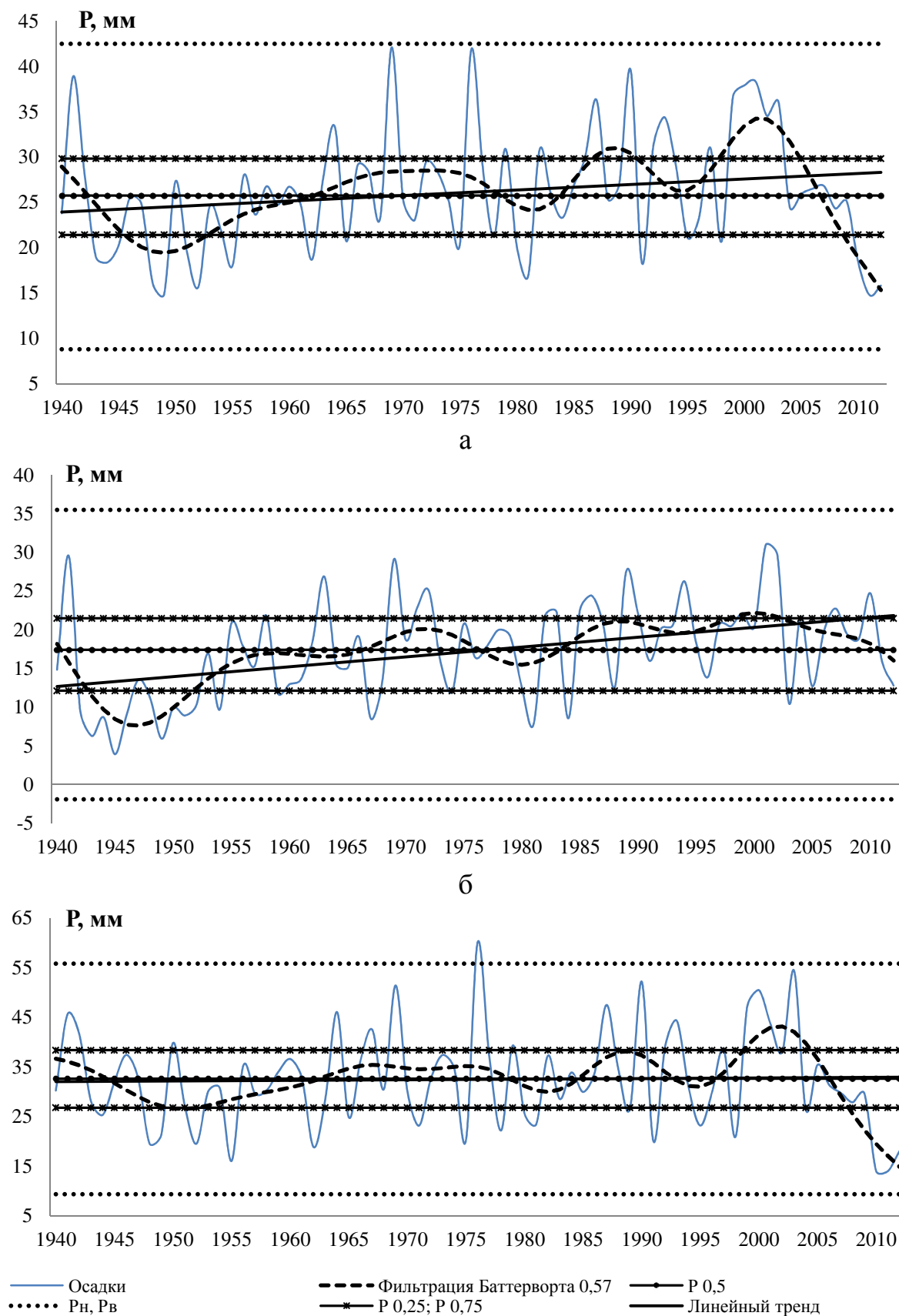


Рисунок 1.4 – Ежегодные значения слоя осадков для ст. Костанай (Тобол-Тургайский ВХБ) с 1940 по 2012 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

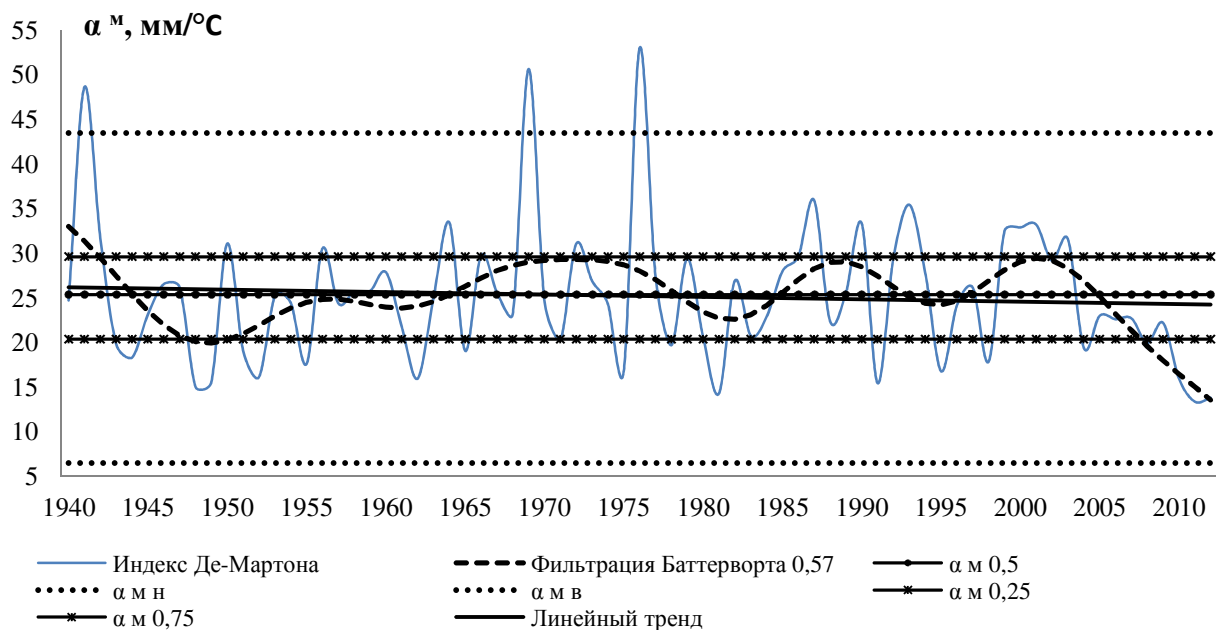
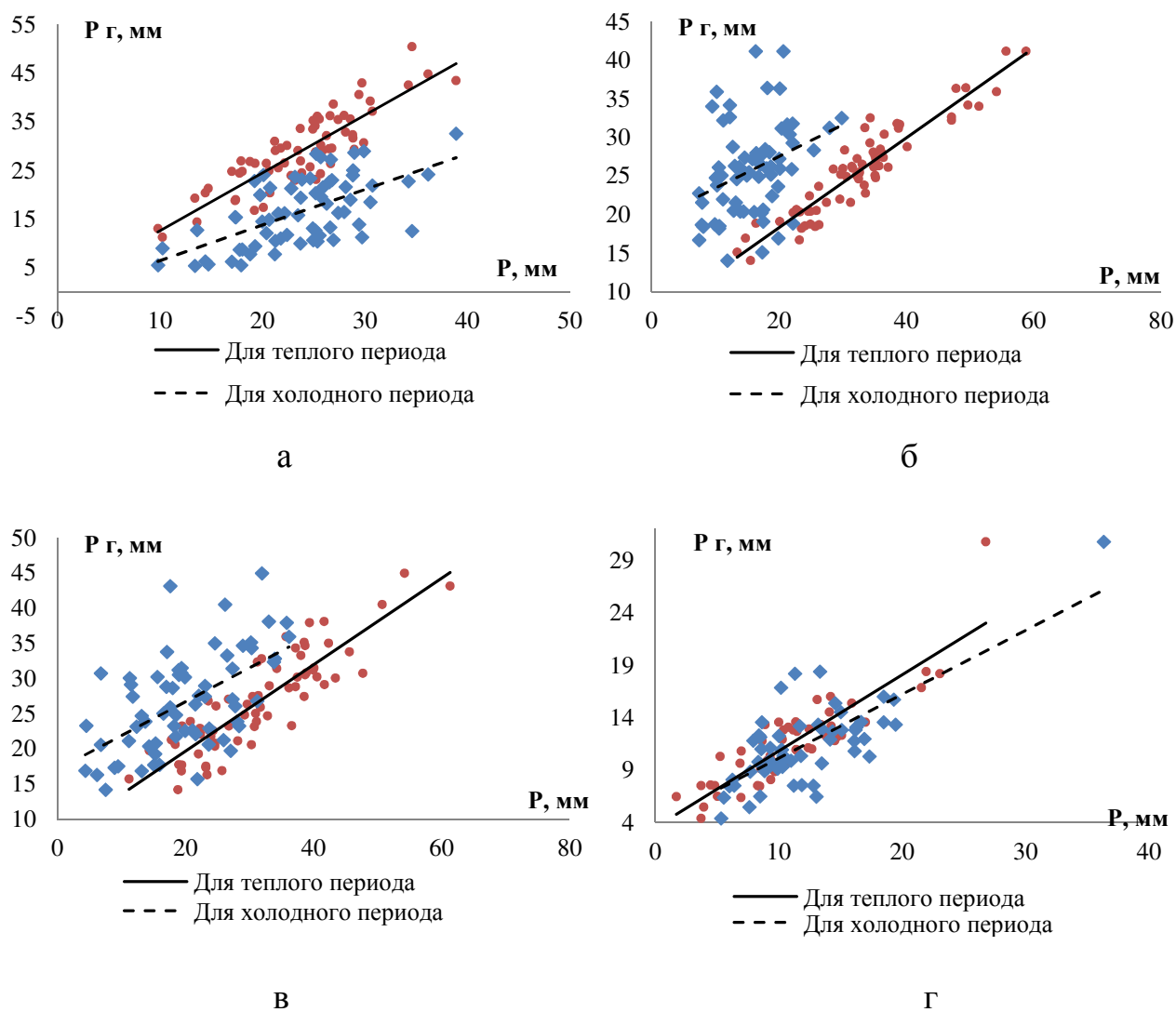


Рисунок 1.5 – Ежегодные значения индекса Де-Мартона для ст. Костанай (Тобол-Тургайский ВХБ) с 1940 по 2012 гг. (за год)



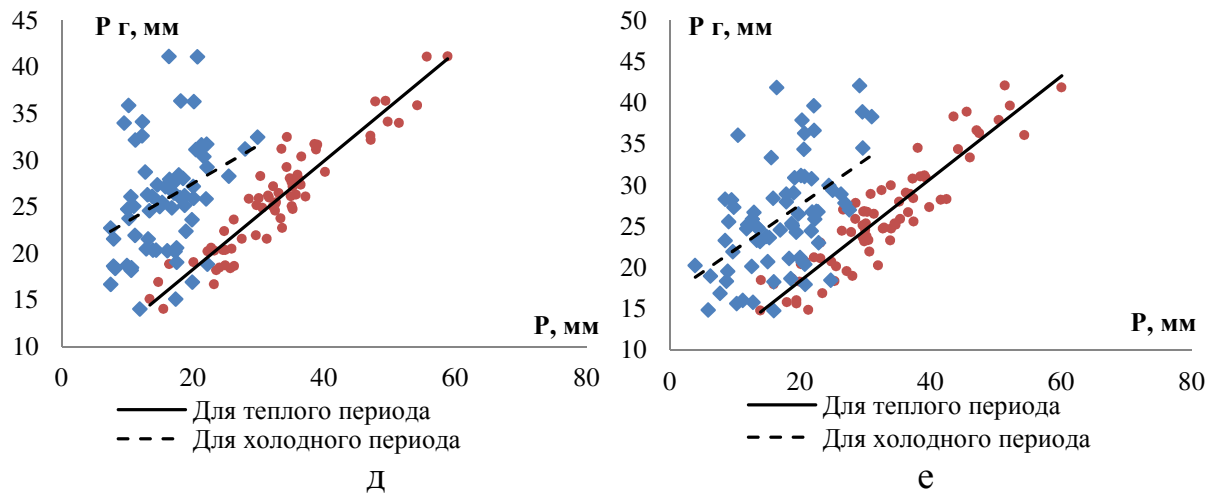


Рисунок 1.6 - Графики связи между ежегодными значениями слоя осадков X_T со значениями теплого и холодного периодов X для ст. Атбасар (а), Зайсан (б), Караганды (в), Балхаш (г), Уральск (д), Костанай (е)

Сопоставление среднего значения m с медианой $X_{0,5}$ и стандарта σ с интерквартильным расстоянием $0,74Q$ показало, что распределение средних годовых значений рассматриваемого индекса климата и увлаженности также близко к нормальному.

Графики временного хода годовых значений индекса Де-Мартона α^M совпадают и повторяют изменчивость осадков. Что также подтверждается предельными коэффициентами детерминации связи индекса Де-мартона и среднегодовых сумм осадков (рисунок 1.7).

На рисунке 1.5 где отмечается тесная связь ежегодных значений слоя осадков со значениями теплого периода исследуемых станций, за исключением Балхаша.

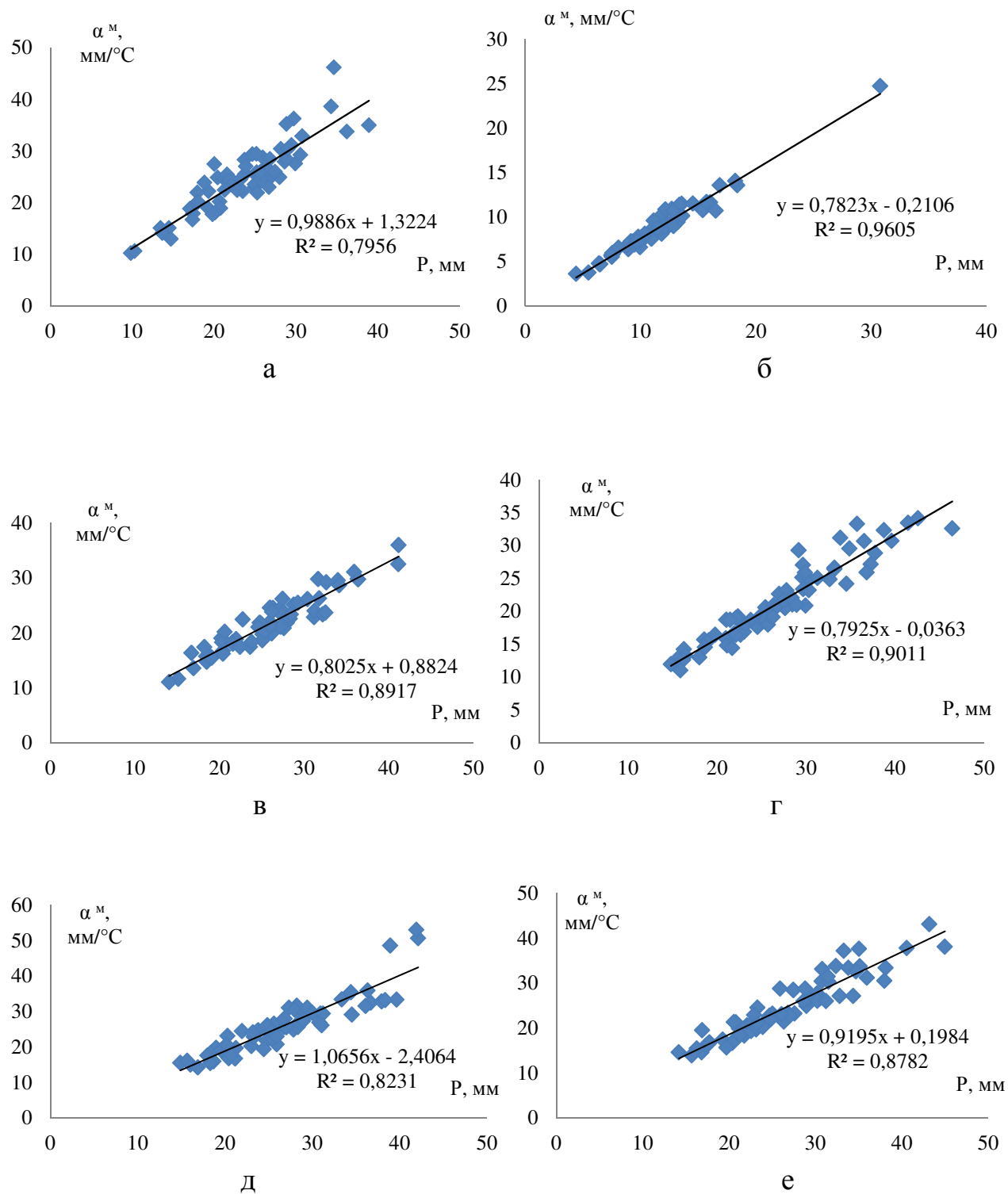


Рисунок 1.7 – Графики связи индекса Де-мартона и среднегодовых сумм осадков для станций Атбасар (а), Балхаш (б), Зайсан (в), Уральск (г), Костанай (д), Караганды (е)

2 ОСОБЕННОСТИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕСТЕСТВЕННЫХ ОЗЕР КАЗАХСТАНА

2.1 Оценка распределения морфометрических характеристик естественных озер Казахстана

Как и в первой основной анализ распределения ЕОК послужили данные лимнологической базы WORLDLAKE [106, 108, 112, 147-149], содержащей обширные лимнологические и др. данные для $5.1 \cdot 10^4$ естественных и $8.1 \cdot 10^3$ искусственных озер мира. Сведения по ЕОК в базе WORLDLAKE собраны, в основном, из неопубликованных материалов Гидрометслужбы СССР и из [93, 94, 130-133]. В этих источниках данные ограничены озерами площадью зеркала с $A \geq 1.0 \text{ км}^2$. Транснациональные Каспийское и Аральское моря не рассматривались. В качестве морфометрических рассматривались размерные (площади озера A и водосбора F , объем воды в озере V , максимальная h_m и средняя h_a глубины, длина береговой линии L , максимальные длина l и ширина b озера) и безразмерные (удельный водосбор F/A , коэффициенты удлиненности l/b и формы h_a/h_m котловины, изрезанности береговой линии S_d) характеристики озер.

Стоит отметить, что не для всех ЕОК известны значения всех морфометрических характеристик, даже для крупных озер (таблица 2.1). Из-за значительной годовой и межгодовой изменчивости характеристик многих озер, в расчет принимались максимальные значения характеристик. Различные источники часто приводят различные значения характеристик. В таких случаях предпочтение отдавалось академическим источникам.

При расчетах функций распределения, регрессий и т.д. применялись традиционные статистические методы.

Таблица 2.1 - Некоторые морфометрические и гидрохимические характеристики крупнейших по площади естественных озер Казахстана (прочерк – отсутствие сведений)¹⁾

Озеро	Координаты ²⁾ (с.ш., в.д.)		Z (м)	Генезис ³⁾	A (км ²)	V (км ³)	H _a H _m (м)	L (км)	F (км ²)	S (‰)	pH
Балхаш	46°32'	74°50'	340	Т	1.64·10 ⁴	95	5.8 26	2.38·10 ³	4.13·10 ⁵	0.8	8.5
Алаколь	46°04'	81°45'	343	Т	2.3·10 ³	53	20 45	3.22·10 ²	1.57·10 ⁴	9	8.9
Зайсан ⁴⁾	48°00'	84°00'	420	Т	1.81·10 ³	11.2	6.0 15	2.7·10 ²	1.1·10 ⁴	-	-
Тенгиз	50°26'	68°54'	304	Т	1.59·10 ³	6.0	3.8 8	4.88·10 ²	9.49·10 ⁴	-	7.5
Селетытенгиз	53°19'	73°10'	65	Э	7.5·10 ²	1.5	2.0 3.2	2.73·10 ²	2.34·10 ⁴	40	7.8
Сасыкколь	46°34'	80°58'	350	Т	7.47·10 ²	2.42	3.3 4.7	1.82·10 ²	2·10 ⁵	0.3	7.8
Маркаколь	48°48'	85°48'	1449	-	4.5·10 ²	6.3	14.3 27	1.06·10 ²	1.1·10 ³	0.6	7.3
Кушмурун	52°41'	64°48'	103	К	4.0·10 ²	0.8	2.0 3.0	2.26·10 ²	2.22·10 ³	20	7.6
Шалкар	53°48'	69°42'	309	-	3.8·10 ²	0.65	1.7 15	3.96·10 ²	2.1·10 ³	4.5	9.0
Сарыкопа	50°09'	64°06'	101	Т/Ф	3.36·10 ²	1.15	3.5 9.5	2.98·10 ²	1.05·10 ⁴	0.5-11	-

Примечания:

1) Поскольку практически все гидрохимические и морфометрические характеристики подвержены заметной сезонной и межгодовой изменчивости для последних здесь даны некоторые максимальные значения; 2) Отнесены к центру озера; 3) Т – тектоническое, Э – эоловое, Ф – флювиальное, К – карстовое; 4) Уровень зарегулирован в 1966 г.

Площадь озера A. Площади ЕОК меняются от $A = 1.64 \cdot 10^4 \text{ км}^2$ оз. Балхаш до $A = 2 \cdot 10^{-3} \text{ км}^2$ для небольших безымянных озер (таблица 2.2). Функция распределения значений A в промежутке площадей $1.0 - 1.64 \cdot 10^4 \text{ км}^2$ указывает на степенной характер распределения вида (A_1 – данные [131-133] (залитые квадраты) со степенным распределением 2 (таблица 2.2, рисунок 2.1а); показано также степенное распределение A для озер мира [110, 112, 146]. Здесь и далее графики распределения значений морфометрических характеристик построены в логарифмических шкалах.

$$N(A \geq A_i) = C_1 \cdot A^{C_2}, \text{ при } A = 1.0 - 1.64 \cdot 10^4 \text{ км}^2 \quad (2.1)$$

где $N(A \geq A_i)$ - число озер с площадями $A \geq A_i$; $C_1 = 2.95 \cdot 10^3$, $C_2 = -0.92$ – коэффициенты.

Согласно (2.1), число ЕОК меняется примерно обратно пропорционально их площади A . Число озер с $A \geq 1.0 \text{ км}^2$ равно $\sim 3.0 \cdot 10^3 \text{ км}^2$. По-видимому, лишь малая доля небольших по площади ЕОК попали в анализируемую выборку, что проявляется в резком изменении наклона статистического распределения при $A < 1.0 \text{ км}^2$ (рисунок 2.1). Зависимость (2.1) близка к зависимости с коэффициентами $C_1 = 1.89 \cdot 10^3$, $C_2 = -0.86$, рассчитанной по данным [131-133]. Примечательно, что коэффициент C_2 в (2.1) близок к рассчитанному ранее [108, 110, 112] ($C_2 = -0.925$) для распределении площадей озер мира.

К «батиметрически измеренным озерам» (БИО) предложено причислять озера, в которых проводились батиметрические съемки и для которых известны средние глубины h_a и, следовательно, объемы V , оцениваемые по формуле $V = h_a \cdot A$. Установлено, что относительная доля БИО в общем числе озер уменьшается с уменьшением A как в глобальном, так и в региональном масштабах. Эта тенденция характерна и для озер Казахстана: объемы известны для 475 озер (14% от рассматриваемых), и практически для всех озер с

площадями $A \geq 100 \text{ км}^2$. При этом, с уменьшением A доля БИО уменьшается примерно как $\sim 0.14 \cdot A^{0.3}$.

Таблица 2.2 – Значения рассчитанных коэффициентов в степенных распределениях некоторых размерных и безразмерных лимнологических характеристик озер Казахстана

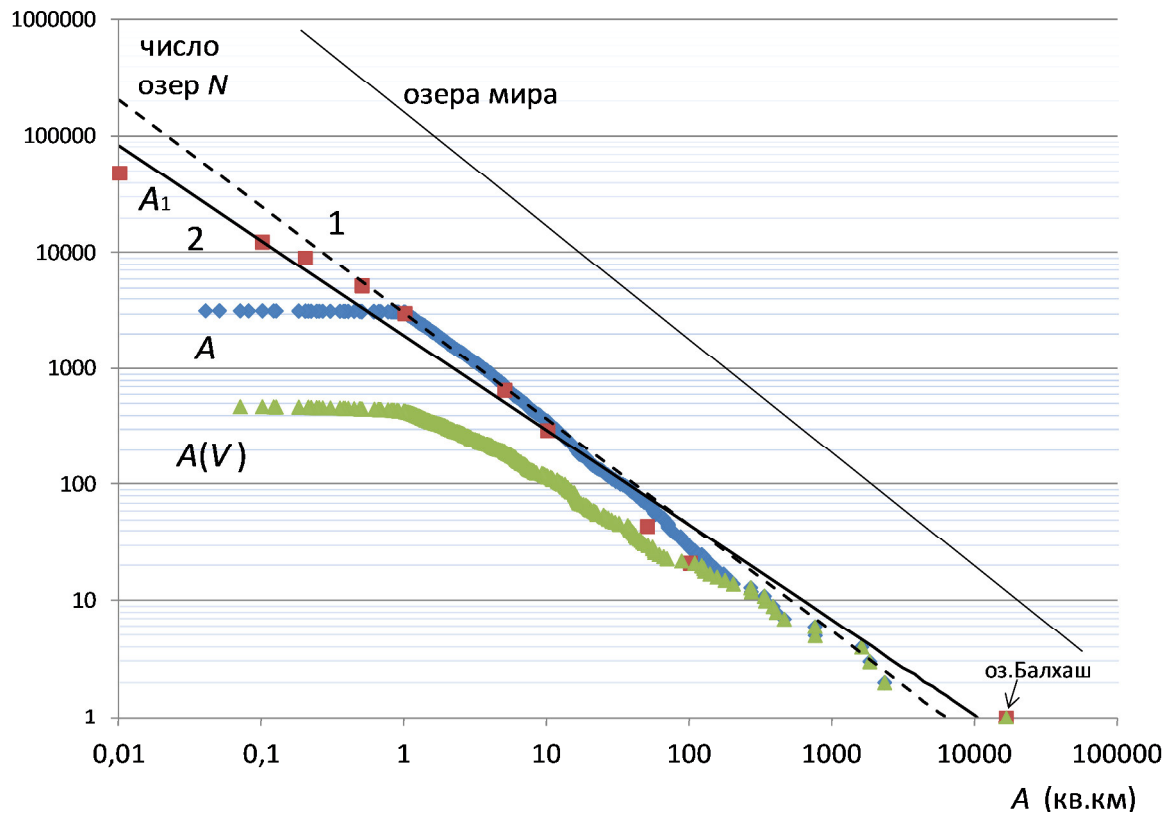
Характеристика	Число озер	Диапазон значений	Значения коэффициентов	
			C_1	C_2
Размерные характеристики				
s (‰)	265	$0.5-1.20 \cdot 10^2$	$2.17 \cdot 10^2$	-0.51
A (км ²)	3,109	$1.0-1.64 \cdot 10^4$	$2.950 \cdot 10^3$	-0.92
F (км ²)	470	$10-4.6 \cdot 10^5$	$2.250 \cdot 10^3$	-0.54
L (км)	2,660	$4.4-2.384 \cdot 10^3$	$2.597 \cdot 10^4$	-1.48
b (км)	2,550	1.0-74	$2.07 \cdot 10^3$	-1.58
l (км)	2,560	$1.6-6.0 \cdot 10^2$	$5.59 \cdot 10^3$	-1.55
h_a (м)	310	1.0-31	$3.72 \cdot 10^2$	-1.69
h_m (м)	336	1.5-79	$7.18 \cdot 10^2$	-1.47
W (км ³)	339	$1.5 \cdot 10^{-3}$ -95	10.0	-0.56
Безразмерные характеристики				
F/A	330	$14-1.1 \cdot 10^3$	$5.91 \cdot 10^3$	-1.06
l/b	3,065	1.0-28.0	$4.06 \cdot 10^3$	-1.93
S_d	3,015	1.00-16.87	$3.20 \cdot 10^3$	-2.90

Площадь водосбора озера F . Значения F , известные для 470 ЕОК (14% рассматриваемых) меняются в интервале от $0.6-1.0 \text{ км}^2$ небольших северо-казахстанских озер до $4.13 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ оз. Балхаш (рисунок 2.1б).

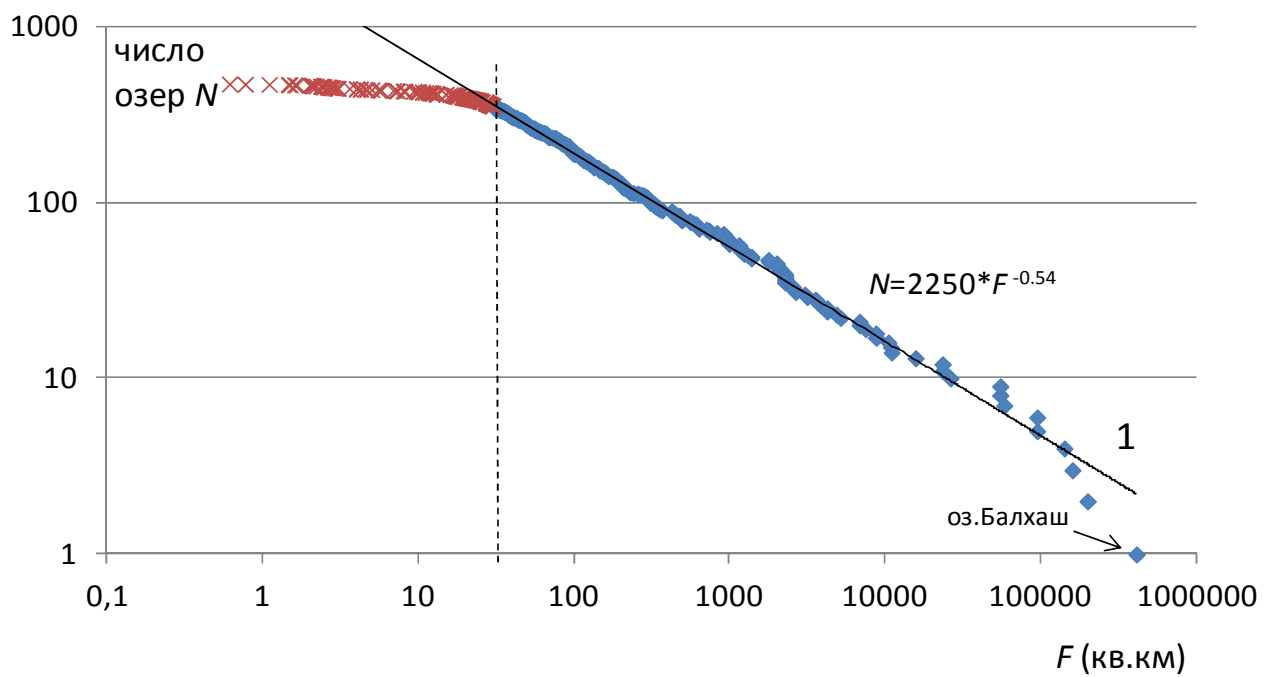
В диапазоне $10.0 - 4.6 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ их распределение имеет степенной вид

$$N(F \geq F_i) = C_1 \cdot F^{C_2}, \text{ при } F = 10.0 - 4.6 \cdot 10^5 \text{ км}^2 \quad (2.2)$$

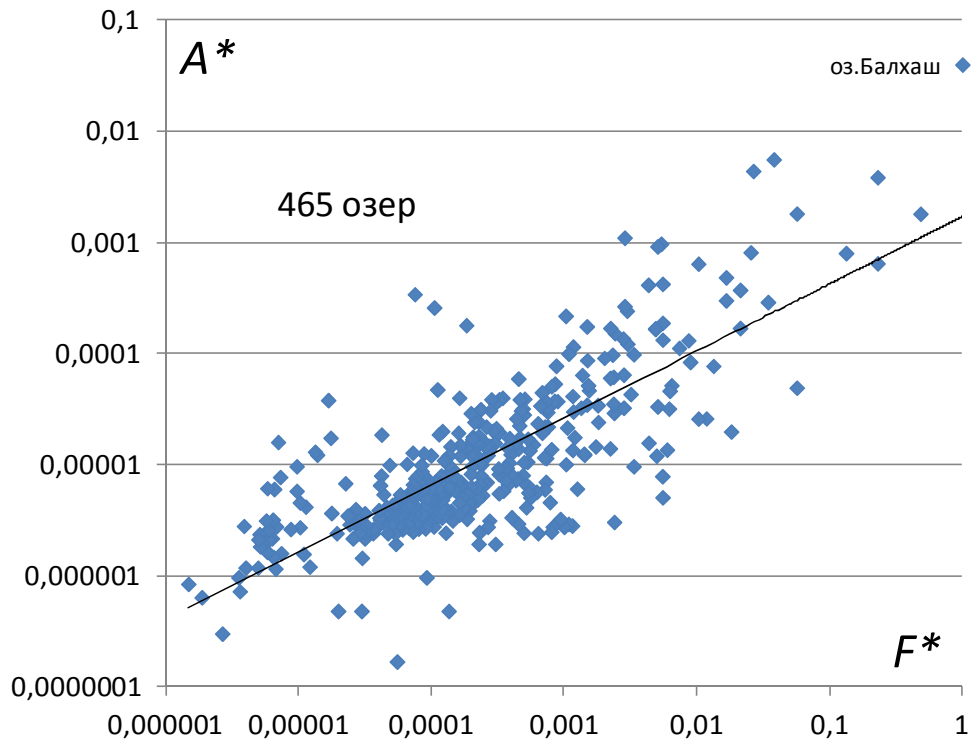
где $N(F \geq F_i)$ - число озер с площадями водосборов $F \geq F_i$; $C_1 = 2.25 \cdot 10^3$, $C_2 = -0.54$ – рассчитанные коэффициенты; (таблица 2.2, рис. 2.1б).



а



б



в

Рисунок 2.1 - Оценки площадных морфометрических характеристик озер Казахстана (показано максимальное значение – оз. Балхаш): а) интегральные распределения A , $A(V)$; б) интегральное распределение водосборов F , пунктир - нижняя граница диапазона для аппроксимирующего распределения; в) зависимость безразмерных площадей озера A^* и водосбора F^*

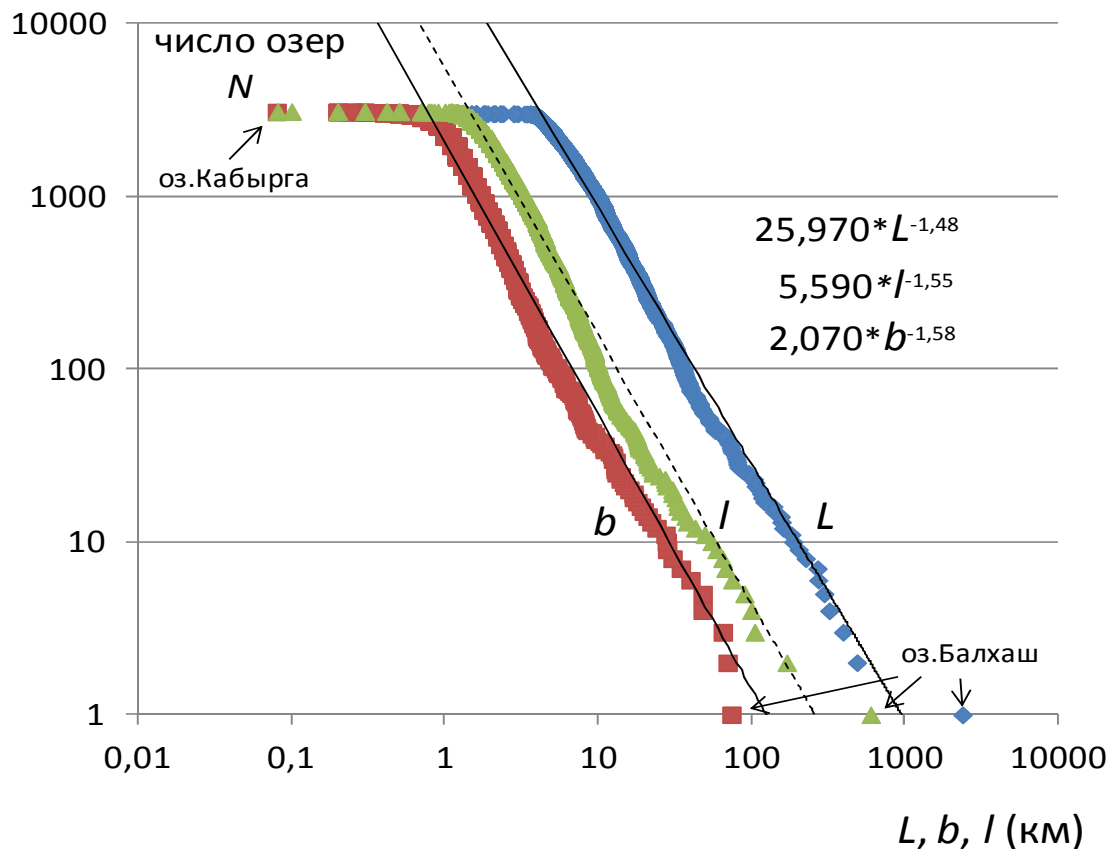
Значения A в значительной мере определяются компонентами водного баланса озера, в частности, речным притоком, который, в свою очередь, существенно контролируется площадью водосбора. Поэтому значения A и F коррелируют, что для ЕОК отмечалось в [47, 49, 50]. Это подтверждают данные для 465 озер, для которых зависимость между A^* и F^* аппроксимируется формулой (рисунок 2.1в)

$$A^* = C_3 \cdot F^{*C_4}, \quad (2.3)$$

где A^* и F^* - безразмерные величины $A^* = A/F$, $F^* = F/F_B$, F_B – площадь оз. Балхаш, $C_3 = 1.7 \cdot 10^{-3}$, $C_4 = 0.60$ – коэффициенты.

Зависимость (2.3) предполагает, что с ростом F растет не только площадь озера A , но и значение удельного водосбора F/A . Заметный разброс значений на рисунке 2.1в вызван тем, что F не единственная характеристика, определяющая A . Значения F/A для 466 ЕОК (14% рассматриваемых) меняются от 0.40 костанайского оз. Жаншор ($52^{\circ}37'$ с.ш., $65^{\circ}55'$ в.д., 15.7 км^2) до $1.1 \cdot 10^3$ акмолинского оз. Узыньколь ($53^{\circ}48'$ с.ш., $70^{\circ}07'$ в.д., 8.2 км^2). Распределение 330 значений F/A в диапазоне $14.0\text{--}1.1 \cdot 10^3$ удовлетворительно описывается степенной зависимостью вида (2.1) с безразмерными коэффициентами $C_1 = 5.91 \cdot 10^3$, $C_2 = -1.06$ (таблица 2.2, рисунок 2.3б).

Максимальные длина l и ширина b озера. На рисунке 2.3а показаны интегральные распределения длины береговой линии L , максимальных длины l и ширина b озера, аппроксимируемые степенными функциями для диапазонов $4.4\text{--}2.384 \cdot 10^3$, $1.6\text{--}6.0 \cdot 10^2$ и $1.0\text{--}74 \text{ км}$ соответственно. Значения l меняются от $8.0 \cdot 10^{-2} \text{ км}$ небольшого восточно-казахстанского горного ледникового оз. Кабырга



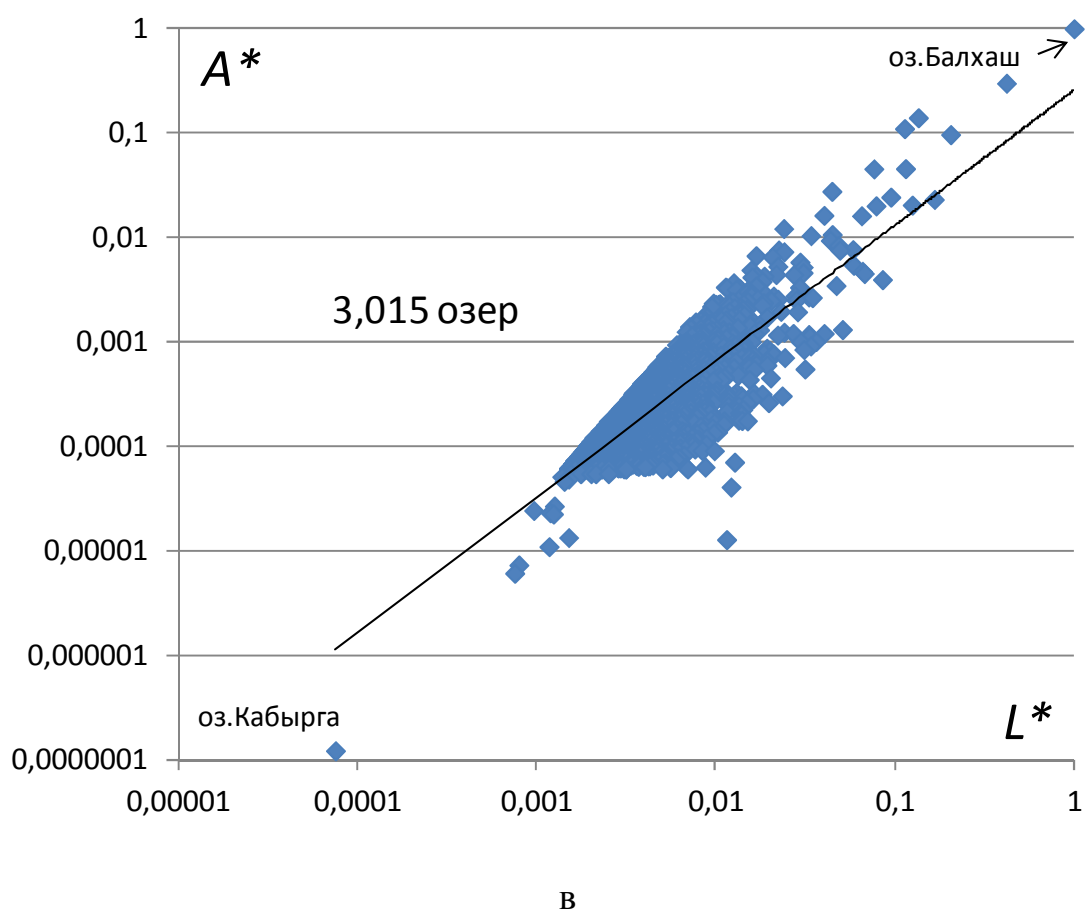
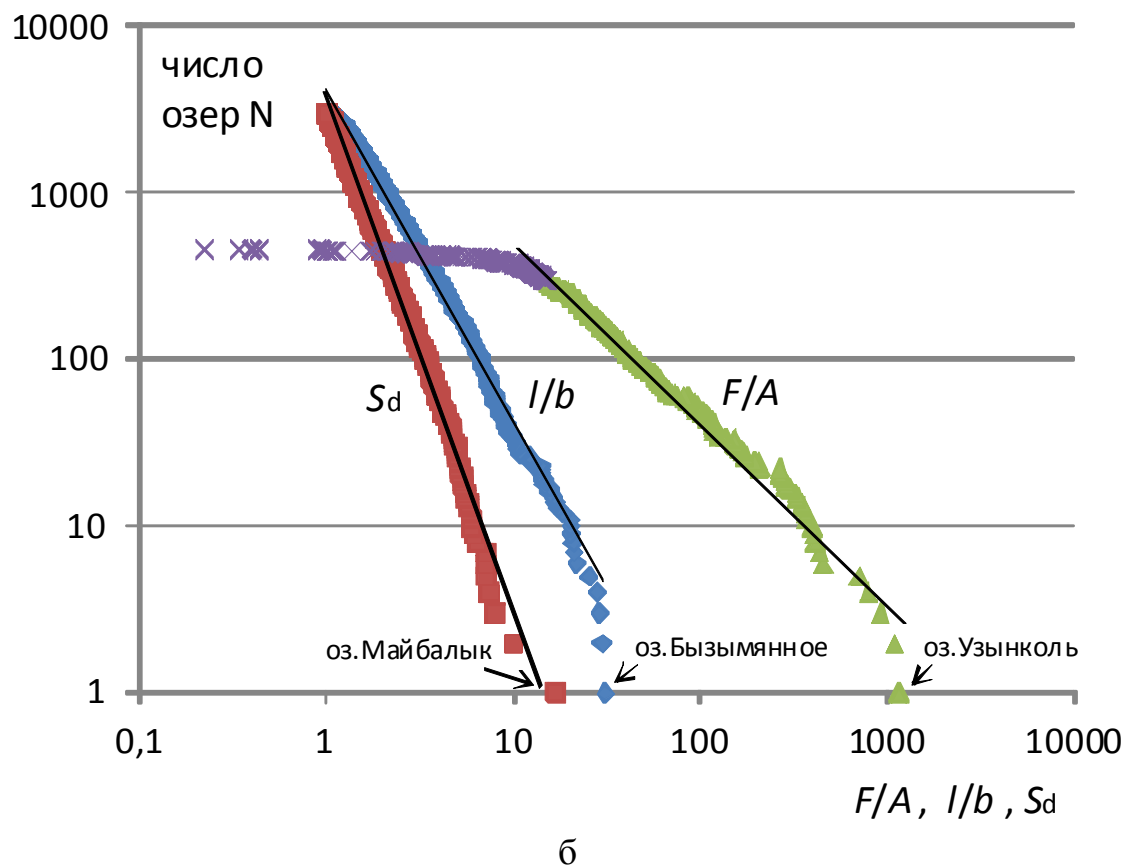


Рисунок 2.3 - Оценки морфометрических характеристик озер Казахстана (показаны озера с экстремальными значениями):

а) интегральные распределения длины береговой линии L , максимальных длины l и ширины b озера; б) интегральные распределения удельного водосбора F/A , показателя удлиненности озера l/b , и показателя изрезанности береговой линии S_d ; кривые – аппроксимирующие степенные распределения; в) зависимость безразмерных площади озера A^* от длины береговой линии L^* ; кривая – рассчитанная степенная регрессия (2.4)

($49^{\circ}09'$ с.ш., $85^{\circ}42'$ в.д., $2.0 \cdot 10^{-3}$ км²) до 600 км оз. Балхаш. Используются данные 3089 озер (рисунок 2.3а). Распределения 2560 значений в промежутке $1.6 - 6.0 \cdot 10^2$ км удовлетворительно описывается степенной функцией вида (2.1)-(2.2) с коэффициентами $C_1 = 5.59 \cdot 10^3$, $C_2 = -1.55$ (таблица 2.2, рисунок 2.3а). Аналогично, 3074 значения b меняются от $4.3 \cdot 10^{-2}$ км оз. Кабырга до 74 км оз. Балхаш (рисунок 2.3а). Распределение 2550 значений b в промежутке 1.0-74 км, также как распределения значений A , F и l , удовлетворительно описываются степенным распределением вида (2.1)-(2.2) с коэффициентами $C_1 = 2.07 \cdot 10^3$, $C_2 = -1.58$ (таблица 2.2, рисунок 2.3а).

Значения показателя удлиненности котловины l/b для 3069 ЕОК (90% рассматриваемых озер) меняются от 1.0 для примерно 40 небольших озер до 30.8 для северо-казахстанского оз. Безымянное-275 ($44^{\circ}02'$ с.ш., $69^{\circ}36'$ в.д., 9.0 км²). Распределение значений l/b в диапазоне 1.0-28.0 удовлетворительно описывается степенной функцией вида (2.1) с безразмерными коэффициентами $C_1 = 4.06 \cdot 10^3$, $C_2 = -1.93$ (таблица 2.2, рисунок 2.3б). Ранее похожая степенная зависимость с близким коэффициентом ($C_2 = -1.99$) была получена Рянжиным С.В. для 708 значений l/b , отвечающим Ленинградской области в близком диапазоне l/b 1.0 – 35.0.

Длина береговой линии озера L . Значения L для 3015 ЕОК (89% рассматриваемых озер) меняются от 0.18 км оз. Кабырга до $2.38 \cdot 10^3$ км оз.

Балхаш (рисунок 2.3а). В промежутке $4.0 - 2.38 \cdot 10^3$ км они удовлетворительно подчиняются степенной зависимости вида (2.1)-(2.2) с коэффициентами $C_1 = 2.597 \cdot 10^4$, $C_2 = -1.48$ (таблица 2.2, рисунок 2.3а).

Показатель изрезанности береговой линии S_d 3015 ЕОК (89% рассматриваемых озер) меняется от 1.0 примерно для 20 озер (круглые озера) до 16.87 небольшого акмолинского ледникового оз. Майбалык ($53^\circ 09'$ с.ш., $70^\circ 21'$ в.д., 0.21 км^2) с сильно изрезанной береговой линией. Распределение этих значений во всем диапазоне значений удовлетворительно описывается функцией вида (2.1)-(2.2) с коэффициентами $C_1 = 3.20 \cdot 10^3$, $C_2 = -2.90$ (таблица 2.2, рисунок 2.3б). Ранее аналогичное степенное распределение с близким показателем степени ($C_2 = -3.25$) было рассчитано Рянжиным С.В. для 671 значений S_d озер Ленинградской области в более узком диапазоне $1.00 - 9.18$. Несмотря на заметный разброс, площади озер в широком диапазоне значений положительно коррелируют с длинами береговой линии (рисунок 2.3в). В безразмерном виде эта зависимость аппроксимируется зависимостью

$$A^* = C_3 \cdot L^{*C_4}, \quad (2.4)$$

где $A^* = A/A_B$, $L^* = L/L_B$, $A = 1.64 \cdot 10^4 \text{ км}^2$ и $L = 2.384 \cdot 10^3 \text{ км}$ – площади и длина береговой линии оз. Балхаш $C_3 = 2.54 \cdot 10^{-1}$, $C_4 = 1.30$ – безразмерные коэффициенты.

Максимальная h_m и средняя h_a глубины. Для 536 озер (16% от общего числа озер) меняются от 3-5 см в небольших озерах до 79 м для оз. Иссык. Для 336 значений в промежутке 1.5-79 м удовлетворительно описываются зависимостью вида (2.1) с коэффициентами $C_1 = 7.18 \cdot 10^2$, $C_2 = -1.47$ (таблица 2.2, рисунок 2.4а). Рассчитанное Рянжиным С.В. для озер Ленинградской области распределение 130 значений h_m в диапазоне 10-44 м обнаруживает значительно отличающийся коэффициент $C_2 = -3.41$, что, возможно, объясняется различными рельефами территорий и доминирующим ледниковым генезисом озерных котловин Ленинградской области. При этом значения h_a для 475 казахстанских озер (14% рассматриваемых) меняются от 1-5 см в

небольших озерах до 31 м оз. Большое Алматинское. 310 значений в промежутке 1.0-31 м, также как распределения рассмотренных выше линейных характеристик, удовлетворительно описываются степенным распределением вида (2.1) с коэффициентами $C_1 = 3.72 \cdot 10^2$, $C_2 = -1.69$ (таблица 2.2, рисунок 2.4а). Причем рассчитанное двумерное статистическое распределение значений h_m и h_a в 460 озерах указывает на преобладание озер (32%) со значениями глубин в промежутке 2.0-4.0 м (рисунок 2.4б).

Значения показателя формы котловины h_a/h_m для 452 озер (13% рассматриваемых) меняются от 0.10 южно-казахстанского оз. Акжар-1 (43°54' с.ш., 69°36' в.д., 41.2 км²) до 0.88 для акмолинского оз. Жандышалкар (50°39' с.ш., 70°21' в.д., 15.8 км²). Гистограмма значений h_a/h_m со средним 0.56, среднеквадратическим отклонением 0.15, модой 0.62 и небольшими отрицательными асимметрией (-0.42) и эксцессом (-0.31) близка к нормальному распределению (рисунок 2.4в), в отличие от степенного распределения рассмотренных безразмерных морфометрических характеристик. При этом среднее значения и мода этого распределения h_a/h_m (для 460 озер) отличается от распределения со средним 0.48, среднеквадратическим отклонением $\sigma=0.14$ и модой 0.50, полученного Рянжиным С.В. для ледниковых озер Ленинградской области. Положительная корреляция h_m и h_a характерна также для ЕОК:

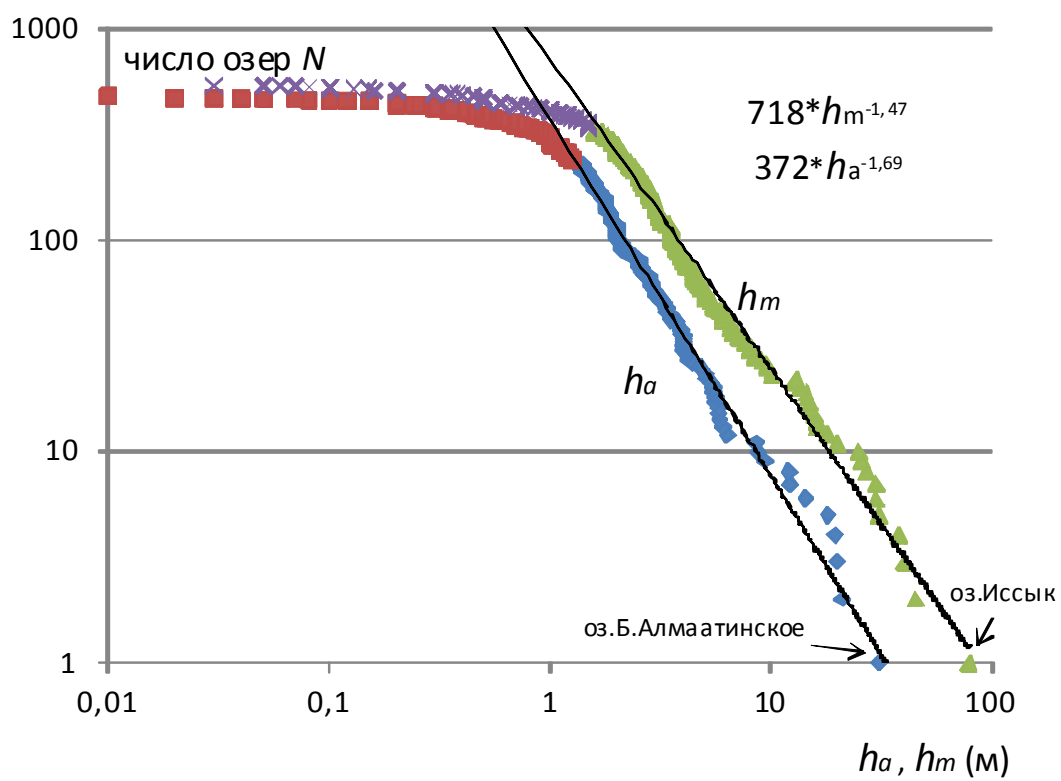
$$h_a^* = C_3 \cdot h_m^{*C_4} \quad (2.5)$$

где $h_a^* = h_a/h_{mи}$, $h_m^* = h_m/h_{mи}$, $h_{mи} = 79$ м (оз. Иссык); $C_3 = 7.47 \cdot 10^{-1}$, $C_4 = 1.10$ – безразмерные коэффициенты (рисунок 2.4г).

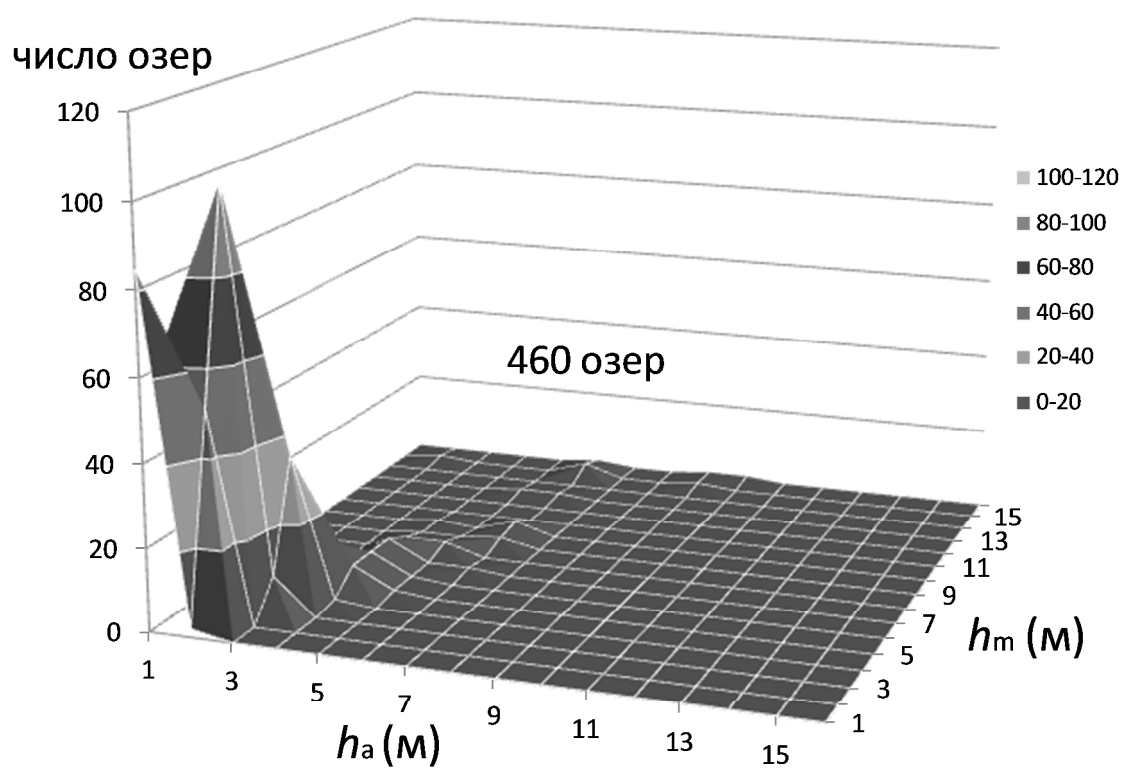
Объем озера V. Оценки объемов 475 озер меняются от $2.08 \cdot 10^{-6}$ км³ оз. Кабырга до 95 км³ оз. Балхаш (рисунок 2.5а). При этом распределение 339 значений в диапазоне $1.5 \cdot 10^{-3} - 95$ км³ удовлетворительно описываются степенной функцией вида

$$N(V \geq V_i) = C_1 \cdot V^{C_2}, \text{ при } V = 1.5 \cdot 10^{-3} - 95 \text{ км}^3 \quad (2.6)$$

где $N(V \geq V_i)$ - число озер с объемами $V \geq V_i$; $C_1 = 10.0$, $C_2 = -0.56$ – коэффициенты; (таблица 2.2, рисунок 2.5а).



а



б

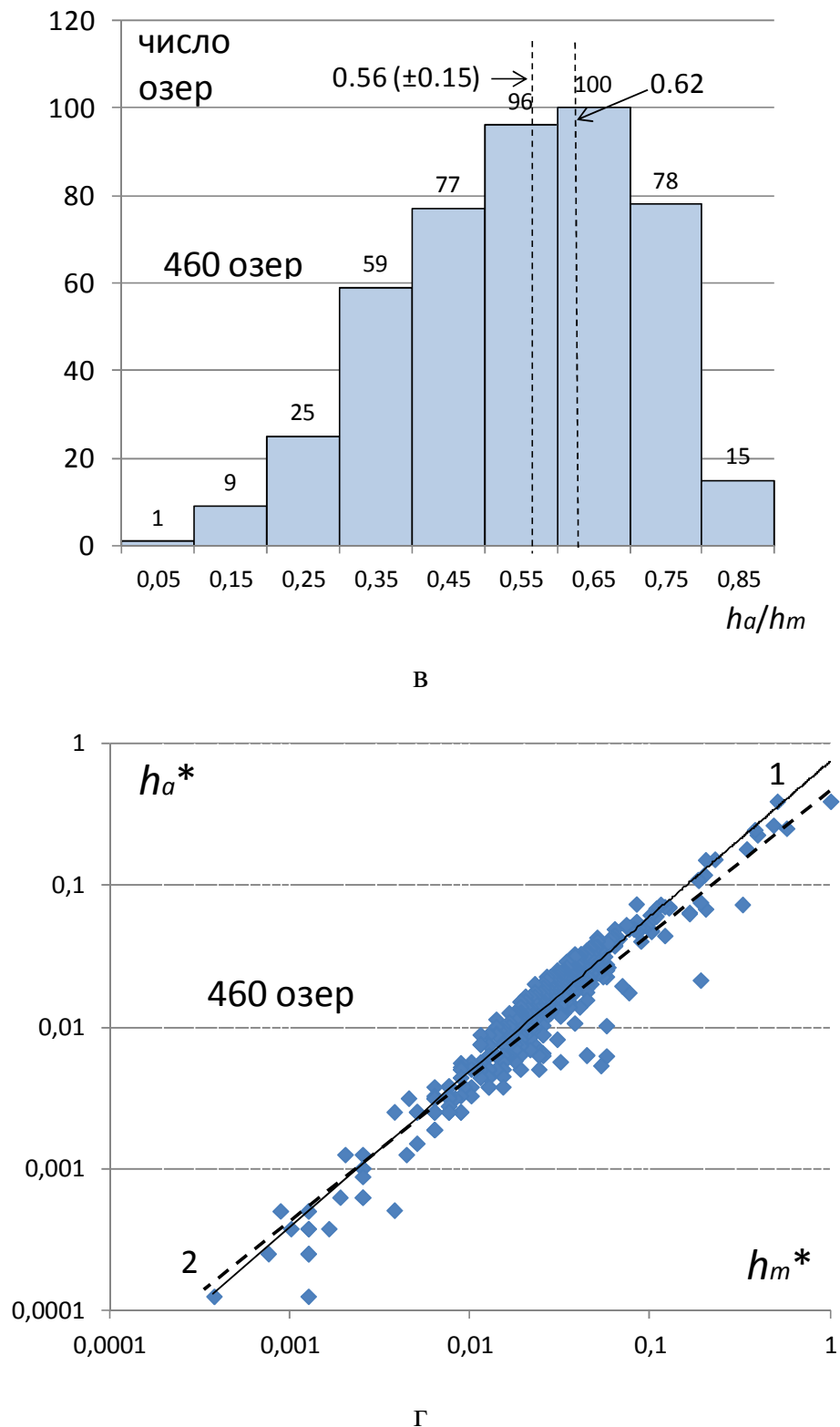


Рисунок 2.4 - Оценки значений максимальной h_m и средней h_a глубины озер Казахстана (показаны озера с максимальными значениями): а) интегральные распределения h_m и h_a , и аппроксимирующие кривые; б) двумерное дифференциальное распределение h_m и h_a ; в) гистограмма значений h_a/h_m ; г) зависимость безразмерной глубины h_a^* от h_m

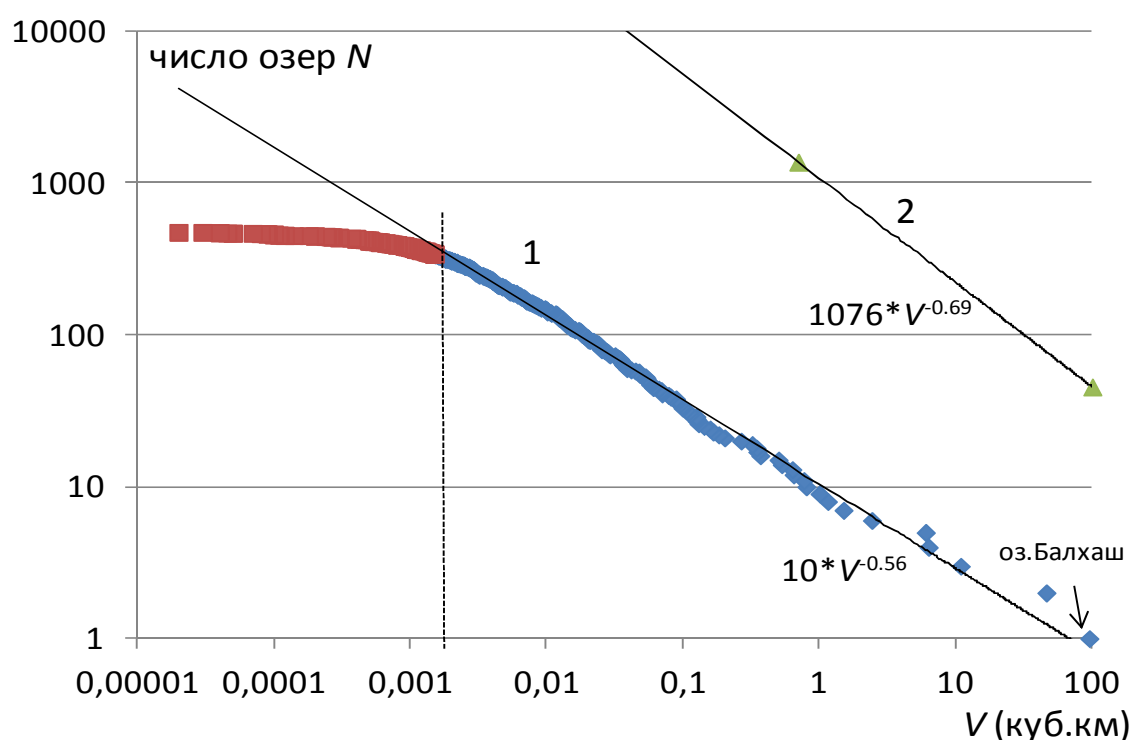
Примечательно, что C_2 (2.6) близок соответствующему коэффициенту для аналогичной зависимости для крупнейших, с площадями $A \geq 50 \text{ км}^2$, озер мира, коэффициенты которой равны $C_1 = 1.076 \cdot 10^3$, $C_2 = -0.69$ [146] (рисунок 2.5а).

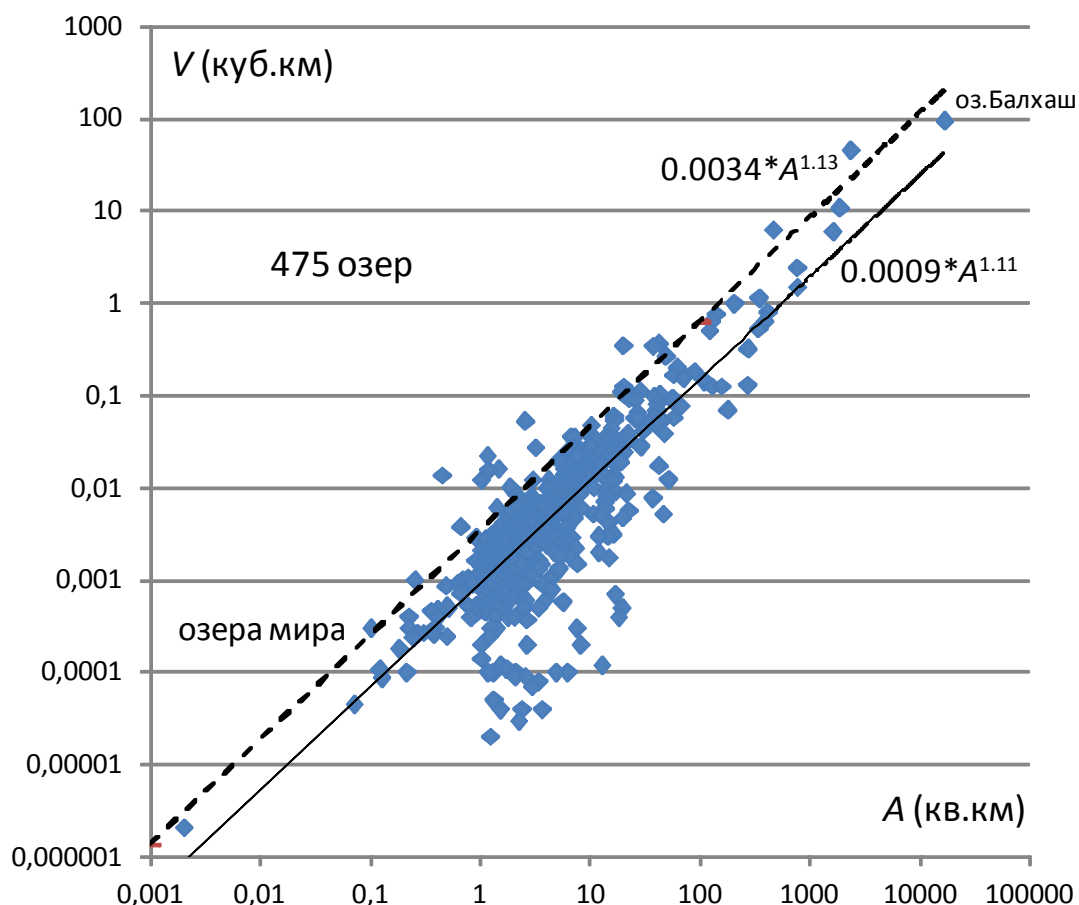
Определение объемов озер требует больших усилий по сравнению с определением значений площади зеркала озер. Последние можно получить, в частности, в результате дистанционных съемок. Определение зависимостей V от A представляет практический интерес [71, 115]. Поэтому по данным для 475 ЕОК была получена степенная зависимость вида:

$$V = C_1 \cdot A^{C_2}, \quad (2.7)$$

где $C_1 = 9 \cdot 10^{-4}$, $C_2 = 1.11$ – рассчитанные коэффициенты (рисунок 2.5б).

Регрессия (2.7) близка к регрессии с коэффициентами $C_1 = 3.4 \cdot 10^3$, $C_2 = 1.13$, приведенной в [110, 112, 146] для 15588 озер мира (рисунок 2.5б).





б

Рисунок 2.5 - Статистическое оценки объемов V озер Казахстана (показано максимальное значение – оз. Балхаш).

а) Интегральные распределения: 1 – 339 озер Казахстана в диапазоне значений $1.5 \cdot 10^{-3}$ -95 км³ (пунктир – нижняя граница диапазона); 2 – 838 «крупнейших» (с площадью $A \geq 50$ км²) озер мира согласно. б) Зависимость V от A

Суммарные площадь и объем озер. По данным ЕОК была произведена оценка «суммарных» площади A_s и V_s озер Казахстана и сравнена с оценками для других регионов. Суммарную площадь оценена снизу как $A_s = 4.38 \cdot 10^4$ км² [131-133]. Таким образом, A_s ЕОК составляет $\sim 1.6\%$ от $2.69 \cdot 10^6$ км² – суммарной площади естественных озер мира по [108, 110, 146, 147]. При этом A_s ЕОК почти в 12 раз превосходит суммарную площадь озер Польши и в 2 раза меньше суммарной площади озер Китая (таблица 2.3).

С учетом площади Казахстана $T = 2.725 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, коэффициент озерности Казахстана $R = A_s/T = 1.6\%$, что близко к глобальной средней оценке 1.8% [108, 110, 146, 147] или средней озерности России равной 1.5% , но значительно уступает коэффициенту озерности российской Карелии, равному 10.4% (таблица 2.3).

Суммарный объем озер Казахстана, полученный как сумма 475 БИО (без Каспийского и Аральского морей), можно оценить как $V_s = 181.9 \text{ км}^3$ (таблица 2.3), что близко к оценке 190 км^3 из [131-133]. Эта оценка почти в 10 раз превышает значение V_s для польских озер, она составляет только 0.1% от суммарного объема естественных озер мира $1.796 \cdot 10^5 \text{ км}^3$ по [108, 110, 146, 147].

При использовании рассчитанных оценок A_s и V_s , была произведена оценка «удельных» площади и объемы озер A_s/P и V_s/P , где P – численность населения. Как видно из таблицы 2.3, применительно к ЕОК значение $A_s/P = 2.57 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{чел.}$ не только почти в 6 раз превосходит глобальное средней значение, но и соответствующие оценки для таких стран, как Китай, Польша, Беларусь и др. В свою очередь, значения «удельного» объема ЕОК $V_s/P = 1.07 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{чел.}$ значительно превосходит аналогичные оценки, например, для озер Польши и Беларуси, но значительно меньше оценки для России (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – «Суммарные» и «удельные» озерные оценки для Казахстана и некоторых территорий (Карелия без оз. Ладожского и Онежского; Казахстан без Каспийского и Аральского морей; Россия без Каспийского моря)

Территория	Площадь T , км ²	Население P , чел.	Озера		Коэффициент озерности A_s/T , %	Озер на одного жителя		Ссылки
			Площадь A_s , км ²	Объем V_s , км ³		Площади A_s/P , м ² /чел.	Объема V_s/P , м ³ /чел.	
Земля	$149.1 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^9$	$2.7 \cdot 10^6$	$179.6 \cdot 10^3$	1.8	385	$2.56 \cdot 10^5$	Рянжин 2005, 2005а
Китай	$9.6 \cdot 10^6$	$1.4 \cdot 10^9$	$8.34 \cdot 10^4$	$7.0 \cdot 10^2$	0.8	60	500	Chang 1987; Ziyun 2001
Монголия	$1.56 \cdot 10^6$	$2.8 \cdot 10^6$	$1.6 \cdot 10^4$	$5.0 \cdot 10^2$	1.0	$5.71 \cdot 10^3$	$1.78 \cdot 10^5$	Batnasan 2001
Бывший СССР	$22.4 \cdot 10^6$	$293 \cdot 10^6$	$4.88 \cdot 10^5$	$2.72 \cdot 10^4$	2.2	$1.66 \cdot 10^3$	$9.28 \cdot 10^4$	Доманицкий и др. 1971
Карелия, РФ	$180.5 \cdot 10^3$	$6.37 \cdot 10^5$	$1.89 \cdot 10^4$	4.3	10.4	$29.7 \cdot 10^3$	$6.75 \cdot 10^3$	Филатов, Литвиненко 2001
Польша	$312 \cdot 10^3$	$38.5 \cdot 10^6$	$3.17 \cdot 10^3$	18.6	1.0	82	483	Atlas...1999
Беларусь	$207 \cdot 10^3$	$9.4 \cdot 10^6$	$2.0 \cdot 10^3$	6.0	1.0	213	638	Якушко 2005
Россия	$17.1 \cdot 10^6$	$143 \cdot 10^6$	$2.64 \cdot 10^5$	$2.49 \cdot 10^4$	1.5	$1.85 \cdot 10^3$	$1.74 \cdot 10^5$	Рянжин 2005, 2005а
Казахстан	$2.725 \cdot 10^6$	$17.0 \cdot 10^6$	$4.38 \cdot 10^4$	181.9	1.6	$2.57 \cdot 10^3$	$1.07 \cdot 10^4$	

2.2 Соотношения между различными морфометрическими параметрами в зависимости от показателя формы озерной котловины и отметок абсолютных высот

Озерные впадины Казахстана относятся к различным генетическим группам, что создает большое разнообразие озер по размерам, очертаниям, глубине, гидрологическому режиму, гидрохимическим особенностям и т.д. Различие в генезисе котловин зависит как и от геологических факторов – новейших тектонических движений, сейсмичности, структуры и литологии пород, – так и от экзогенных – действия речной эрозии, ветра, льда, карста, суффозии, гравитационных процессов. Кроме того, нельзя не учитывать изменений, вызванных деятельностью человека и непостоянством климатических условий. Аридность климата приводит к тому, многие впадины оказываются не занятыми водой или занятыми не полностью, исчезают небольшие водоемы, мелеют крупные. Возрастание влажности способствует переполнению озерных котловин и их спуску.

Г.Е. Быков (1933) считал, что степные озера обязаны своим существованием сухому климату, определившему недостаточное развитие эрозии. Таким образом, необычайный рост озерности в Казахстане находит себе объяснение.

На территории Казахстана выделяется несколько генетических типов озерных впадин, или котловин.

Тектонические впадины сосредоточены в *горных областях*: межгорных впадинах (Алаколь, Сасыкколь, Кошкарколь (Уялы), Жаланащ), внутригорных впадинах (Маркаколь, Восточно-Казахстанская область), предгорных впадинах (Балхаш), плотинных озерах (Иссык, Большое Алматинское озеро); *равнинных областях*: платформенных прогибах (Каспийское море, Аральское море, Тенгиз, Кургальджин, Калмакколь, Улуколь, Мамай), плотинных озерах (Карасор, Коскаколь, Палванколь, Шоиндыколь), компенсационных мульдах (Баскунчак, Аралсор, Шалкар, Индерское).

Экзогенные впадины сосредоточены в *эрозионных впадинах*: остаточных плесах (Каиндыколь, Карагайчик-Айдабуль, Шебунды-Камышевое, Бийлеколь, Кайназар, Акколь, Кызылаутколь, Ащыколь, Тузколь, Алкасор, Сангасы, Майсор, Коряковское, Таволжанское, Большой Аж-Булат, Студеное, Кызылтуз, Красновишневое, Убаган (Кушмурун), Аксуат, Сарыкопа, Яркамьш и обширный солончак Шалкар-Тениз), пойменных озерах: (Буралкенынтуз в низовьях реки Чу), дельтовых озерах (дельта реки Иле), внутриконтинентально-дельтовых озерах (Шалкар-Тенгиз, Ащыколь, Саумалколь), сорово-дефляционных впадинах (Селеты, Теке, Жалаулы, Кызылкак, Улькен-Карой), дефляционных озерных впадинах (Акчакур), суффозионных впадинах (северная и северо-восточная части Казахстанского щита), карстовых впадинах, гравитационных озерных впадинах (Каинды – возникло в 1911 г., озера Саты и Кульсу в Кунгей Алатау, Балыктыколь), ледниковых озерах (горы Тарбагатай - озеро Кокколь, горы Алтая - Язевое, Бухтарминское).

В продолжение исследования актуального вопроса установления зависимостей между морфометрическими характеристиками изученных озера для определения возможности переноса результатов на неизученные объекты [12, 47-50, 91] были выбраны озера различного генезиса. В качестве основных параметров генезиса рассматривались отметка абсолютной высоты Z и показатель формы озерной котловины CI (соотношение средней глубины озера к максимальной; для конуса $CI = 0.33$, полуэллипсоида – 0.67, цилиндра – 1)

Для анализа были также использованы сведения из базы WORLDLAKE, на основании которых построены логарифмические зависимости $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$ при различных выборках (таблица 2.4):

- а) выборка озера по V и A в соответствии с Z ;
- б) выборка озера по V и A в соответствии с Z и CI .

В выборке (а) озера были разделены по градации Z на следующие группы: $Z < 200$ м (169 озера), $Z = 200 - 400$ м (204 озера), $Z > 400$ м (92 озера).

При ранжировании выборки по отметке абсолютной высоты происходит разделение озер Казахстана на низинные озера, на озера, расположенные на возвышенных равнинах, плато и мелкосопочнике и на озера в среднегорьях и высокогорьях.

Основная масса озер размещается на абсолютных высотах от 100 м до 350 м, поэтому в выборке (а) больше озер во второй группе (204 озера), а в выборке (б) больше озер в первой группе (197 озер).

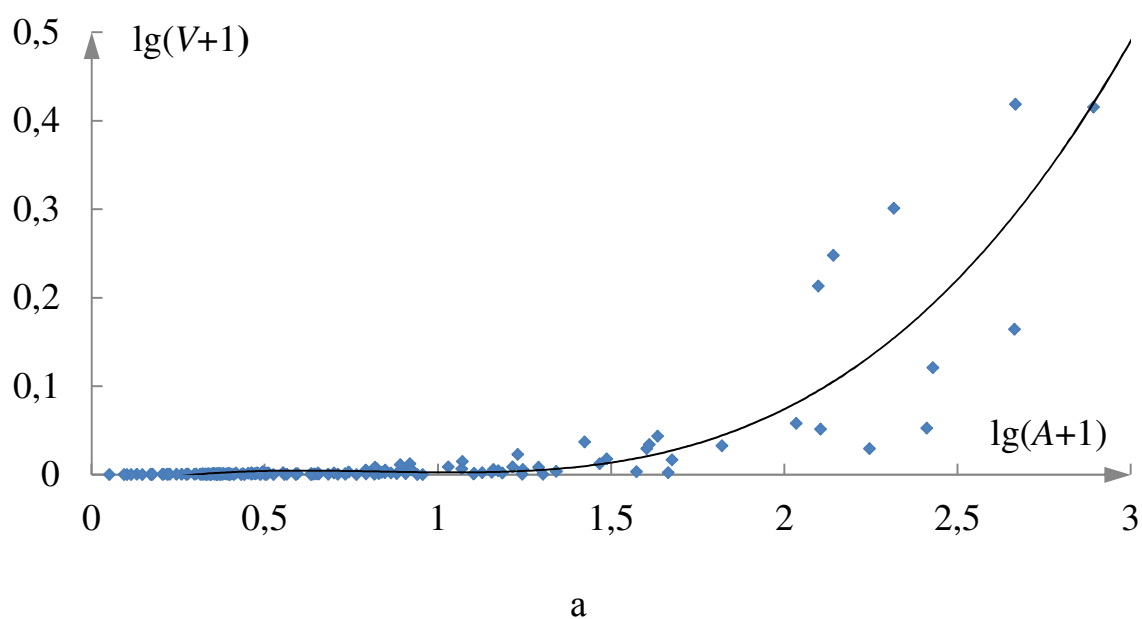
Для первой группы озер зависимость аппроксимирована полиномиальной кривой 3 степени без удаления точек, соответствующих озерам с большой площадью зеркала. В этом случае максимальная величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0.98$. Кривая проходит через точки достаточно хорошо и зависимость получается более надежной, чем, если использовать экспоненциальную сглаженную кривую. При увеличении зависимости $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$, т.е. с графика убрать отскакивающую от аппроксимирующей кривой точку, соответствующую озеру с большой площадью (Аральское море), ни уравнение, ни R^2 не изменяются (рисунок 2.6а).

Для второй группы озер зависимость аппроксимирована полиномиальной кривой 4 степени с удалением точек, соответствующих озерам с большой площадью зеркала (Балхаш, Алаколь, Жакси-Жалгизтау, Зайсан, Щучье и Чалкар). Такие озера, как уникальные объекты, необходимо изучать отдельно. Экспоненциальная сглаженная кривая не дает такой хорошей аппроксимации как полиномиальная.

Для третьей группы озер зависимость аппроксимирована экспоненциальной кривой. Она подходит точнее. При удалении двух точек, соответствующих озерам Марка-Куль и Кара-Сор, происходит уменьшение величины корреляционного отношения ($R^2 = 0.59$). Но при удалении следующих отскакивающих трех точек, соответствующих озерам Ульмеис, Рудничное и Сабундыколь R^2 увеличивается до значения 0.63. Максимальное значение $R^2 = 0.66$ соответствует зависимости без удаления точек, поэтому в этом случае, зависимость является более точной без удаления отскакивающих точек.

Таблица 2.4 – Зависимость объема озера от площади его поверхности

Абс. высота Z , показатель формы котловины CI	Зависимость объема озера V от площади поверхности A : $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$	R^2
<u>Выборка (а)</u>	<u>Вариант 1</u>	
$Z < 200$ м	$y = 0.049x^3 - 0.122x^2 + 0.0938x - 0.018$	0.98
$Z = 200 - 400$ м	$y = 0.031x^4 - 0.119x^3 + 0.175x^2 - 0.097x + 0.018$	0.99
$Z > 400$ м	$y = 0.0003e^{2.8761x}$	0.66
$Z > 300$ м	$y = 0.024x^3 + 0.046x^2 - 0.112x + 0.042$	0.93
<u>Выборка (б)</u>	<u>Вариант 2</u>	
$Z < 300$ м	$y = 0.0491x^3 - 0.1227x^2 + 0.0969x - 0.0197$	0.98
$Z = 300 - 600$ м	$y = 0.0388x^3 - 0.0642x^2 + 0.0361x - 0.0046$	0.98
$Z > 600$ м	$y = 0.0005 e^{2.6941x}$	0.61
<u>Выборка (б)</u>	<u>Вариант 3</u>	
$Z < 300$ м $CI = 0 - 0.33$	$y = 0.008x^4 + 0.001x^3 - 0.062x^2 + 0.074x - 0.02$	0.99
$Z < 300$ м $CI = 0.33 - 0.66$	$y = -0.001x^4 + 0.049x^3 - 0.096x^2 + 0.058x - 0.009$	0.82
$Z < 300$ м $CI = 0.66 - 1.0$	$y = 0.011x^3 - 0.008x^2 + 0.008x - 0.001$	0.92
$Z = 300 - 600$ м $CI = 0 - 0.33$	$y = 0.005x^4 + 0.013x^3 - 0.048x^2 + 0.036x - 0.005$	0.99
$Z = 300 - 600$ м $CI = 0.33 - 0.66$	$y = -0.003x^4 + 0.102x^3 - 0.261x^2 + 0.229x - 0.059$	0.96
$Z = 300 - 600$ м $CI = 0.66 - 1.0$	$y = 0.007x^4 + 0.009x^3 - 0.023x^2 + 0.01x + 0.003$	0.98



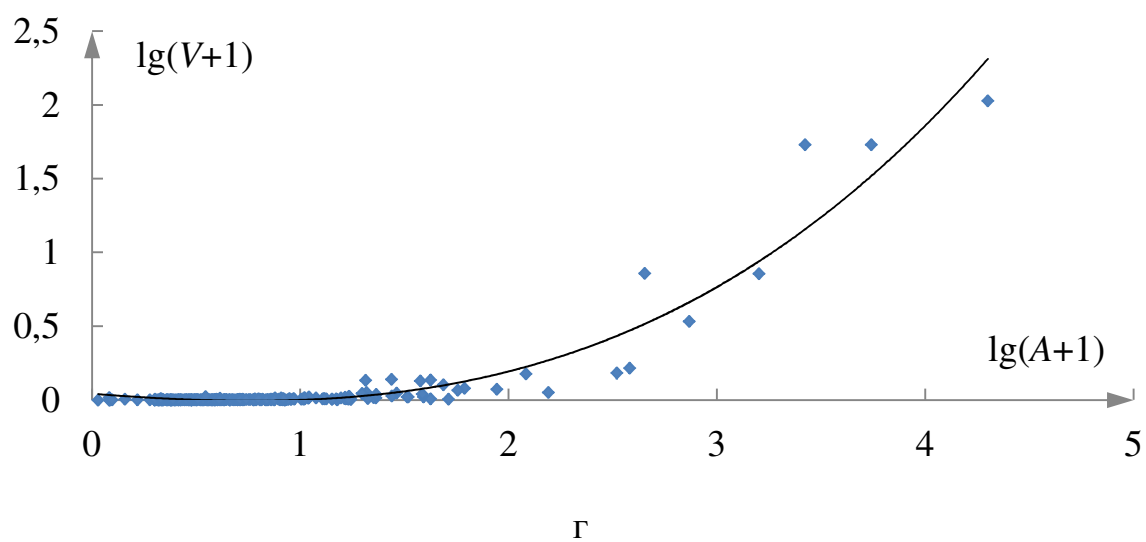
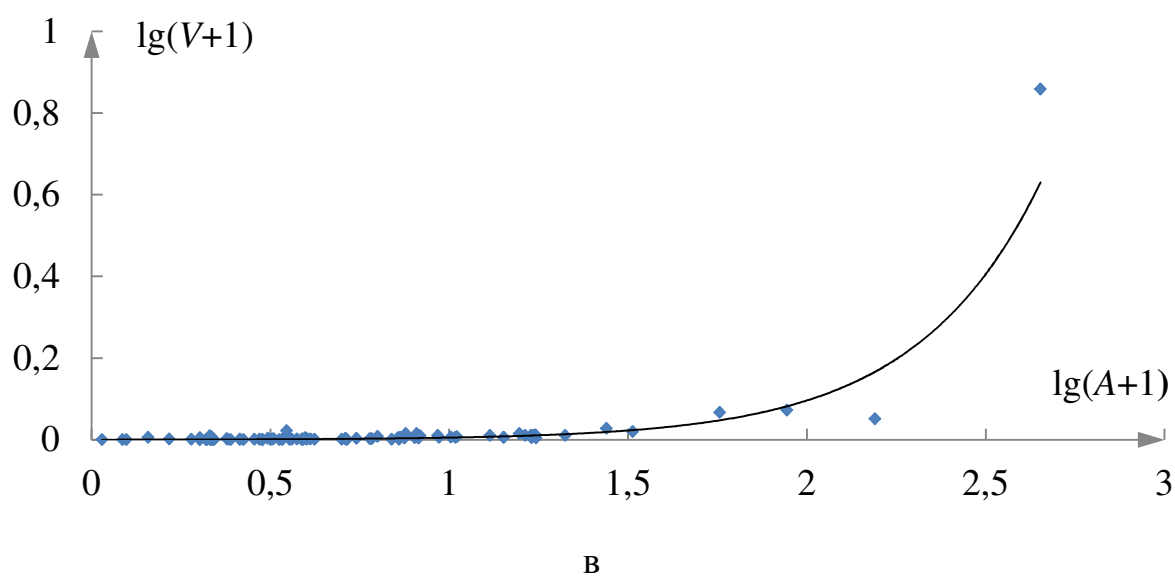
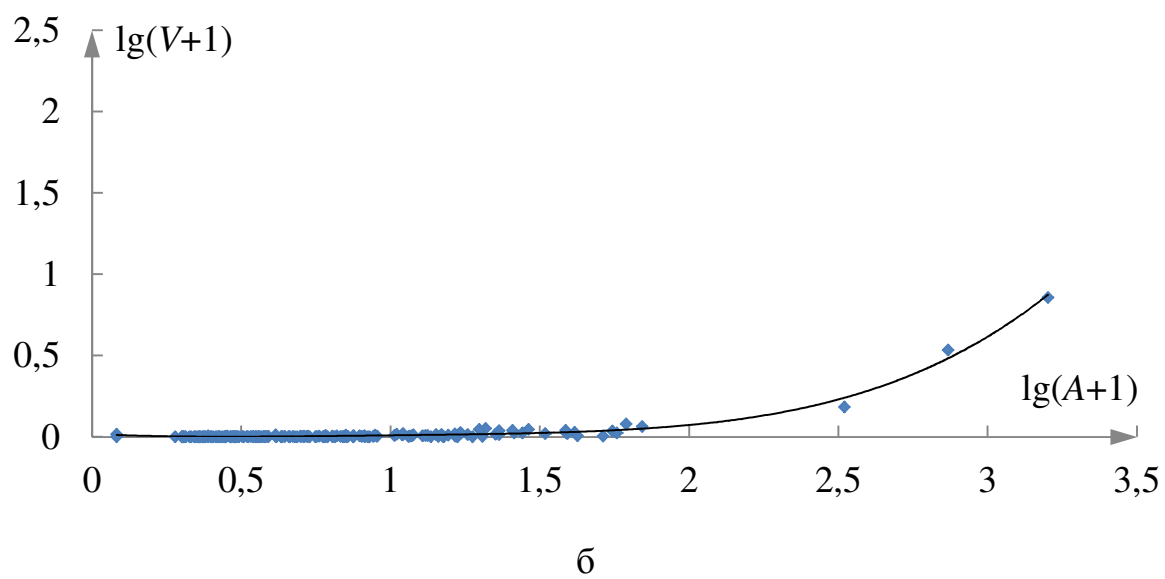


Рисунок 2.6 - Зависимости $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$ при $Z < 200$ м (а), $Z = 200-400$ м (б), $Z > 400$ м (в), $Z > 300$ м (г)

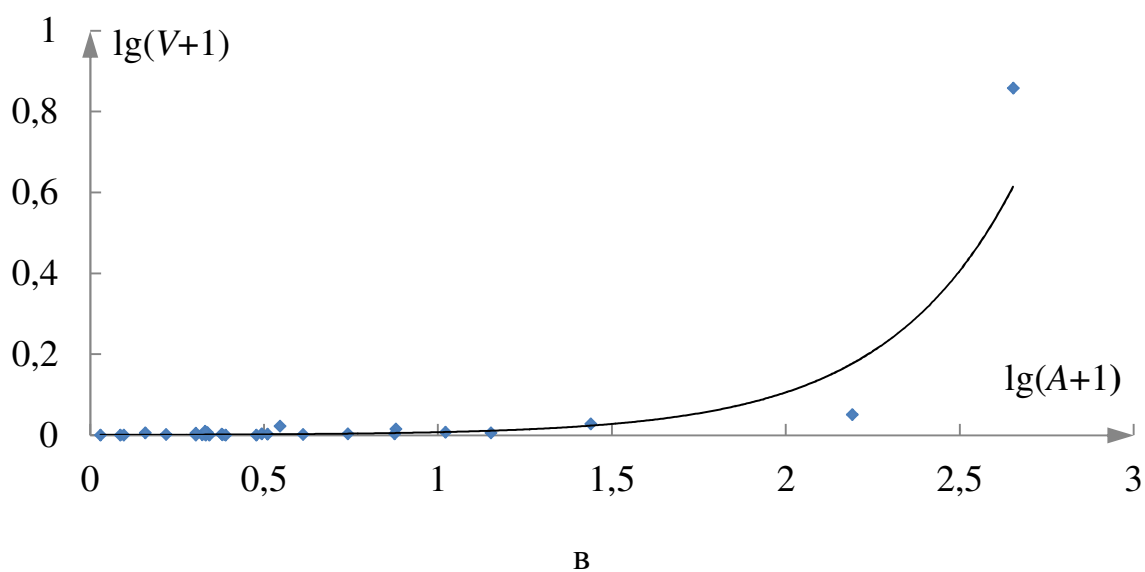
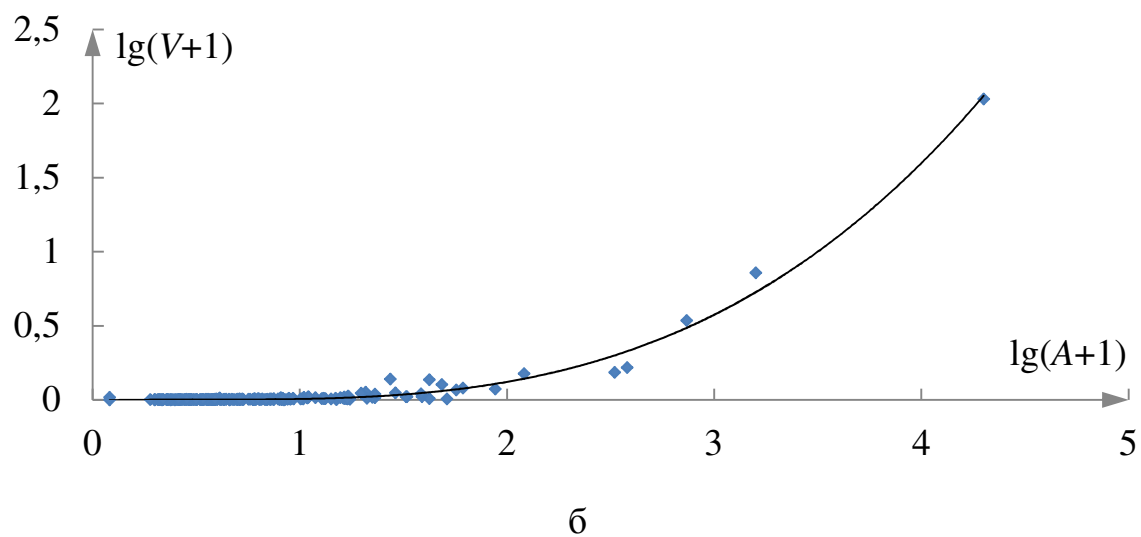
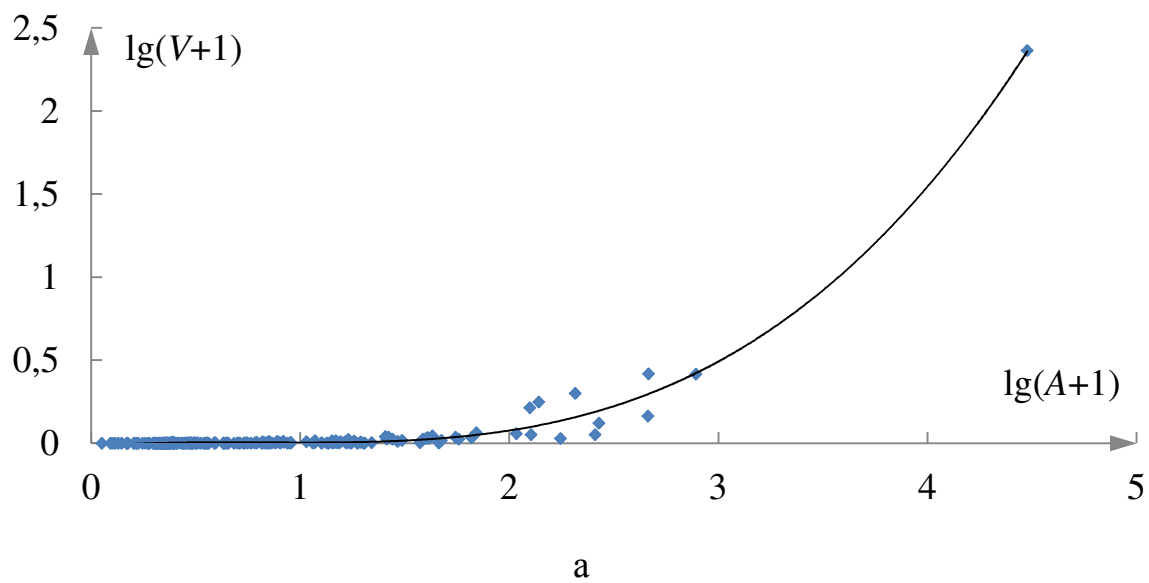


Рисунок 2.7 - Зависимости $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$ при $Z < 300$ м (а),
 $Z = 300-600$ м (б), $Z > 600$ м (в)

В выборке (б) озера были разделены по $Z < 300$ м, $Z = 300 - 600$ м, $Z > 600$ м. Графическое изображение зависимостей представлено на рисунке 2.7.

Зависимости первых групп выборок (а) и (б) являются аналогичными. Для них лучше подходит аппроксимирующая полиномиальная кривая 3 степени. Озера этой группы второй выборки преимущественно «малые» по объемам и площади поверхности озера поэтому зависимость они практически не изменили. Величина корреляционного отношения $R^2 = 0.98$ осталась прежней, а разница в коэффициентах уравнений незначительная.

Зависимости вторых групп выборок имеют различия. Зависимость при $Z = 200-400$ м аппроксимирована полиномиальной кривой 4 степени, а зависимость при $Z=300-600$ м аппроксимирована полиномиальной кривой 3 степени (соответственно уравнения имеют разное количество коэффициентов). В обоих случаях были удалены точки, соответствующие озерам с большой площадью. Величина корреляционного отношения R^2 различается незначительно.

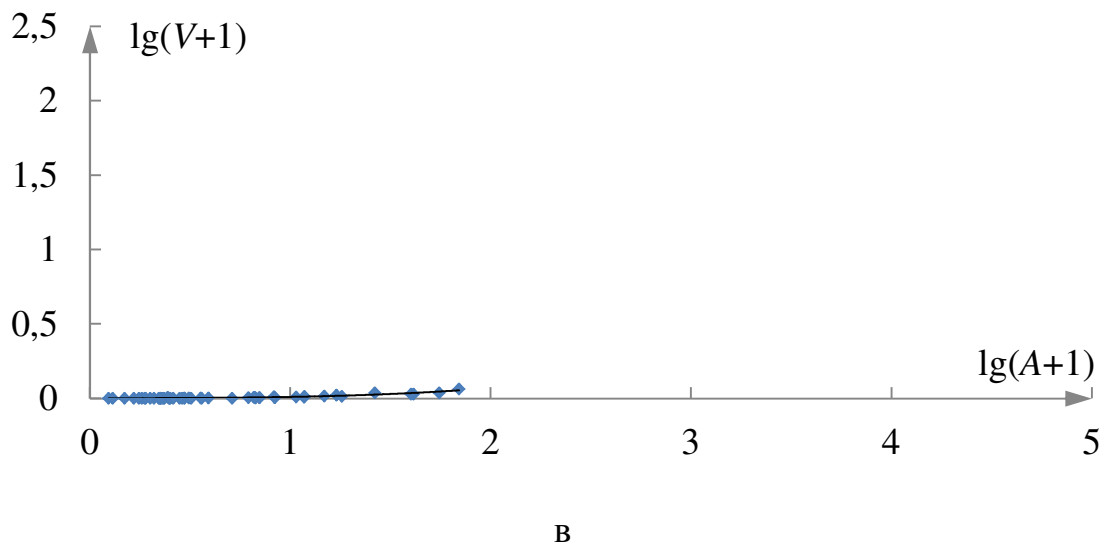
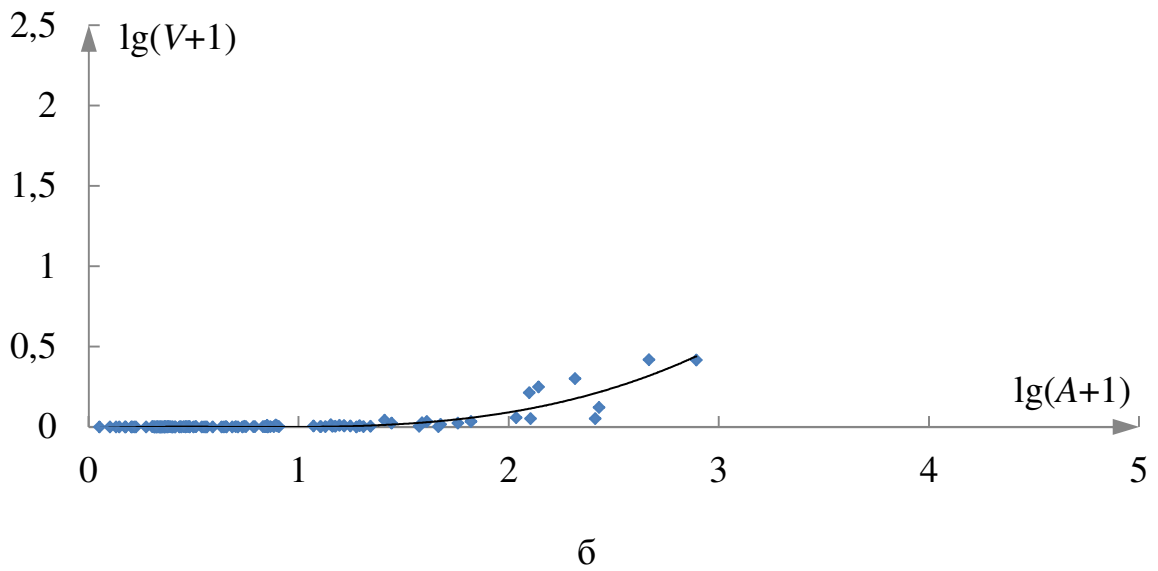
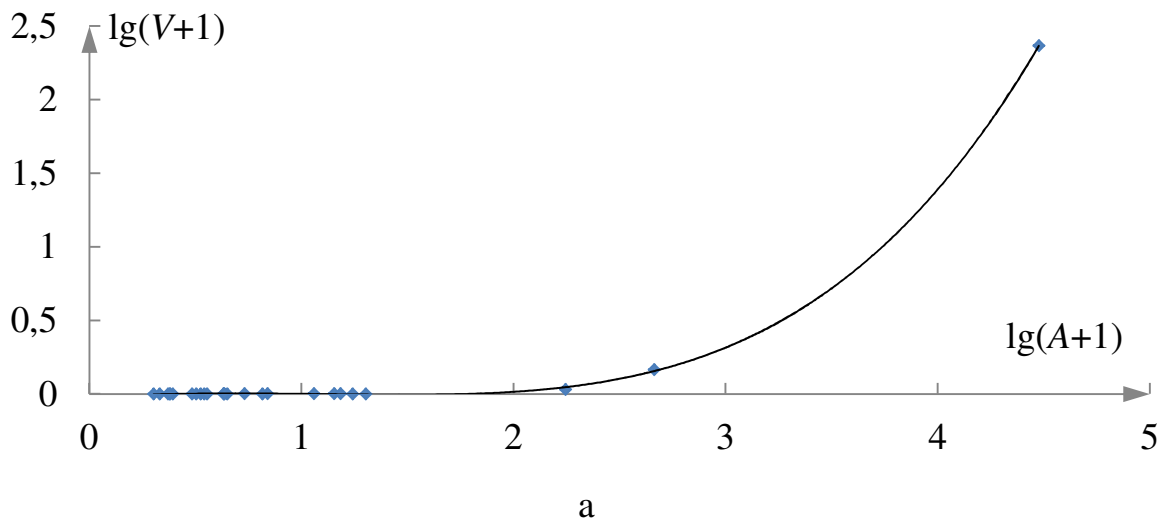
Зависимости третьих групп выборок выглядят одинаково. Сглаженная кривая не изменила своего положения, хотя количество озер во второй выборке в четыре раза меньше. Это говорит о том, что сглаженная кривая проходит по основным точкам, характеризующим озера, которые располагаются на абсолютных высотах больше 600 м (Маркаколь, Карасор, Балыктыколь, Катынколь, Шалкарколь и др.). Величины корреляционного отношения R^2 и уравнения, описывающие зависимость различаются.

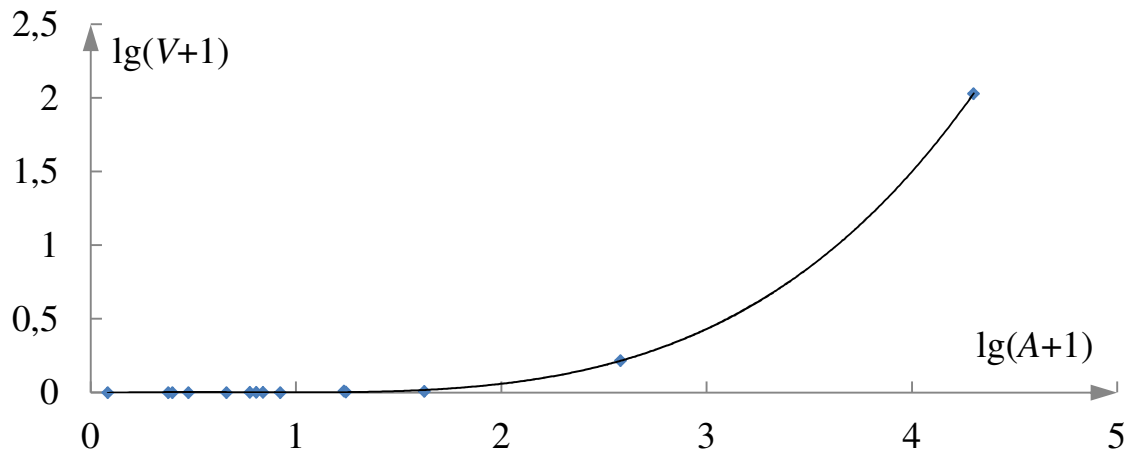
Далее каждая группа была ранжирована по CI в категориях: $CI = 0 - 0.33$ (197 озер), $CI = 0.33 - 0.66$ (190 озер), $CI = 0.66 - 1.0$ (26 озер).

Логарифмические зависимости $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$ при различных Z и CI являются достаточно надежными и более наглядными (таблица 2.4). По таким зависимостям можно определить к какому классу по абсолютной высоте Z и CI относится озеро и следовательно, оценить некоторые морфометрические характеристики.

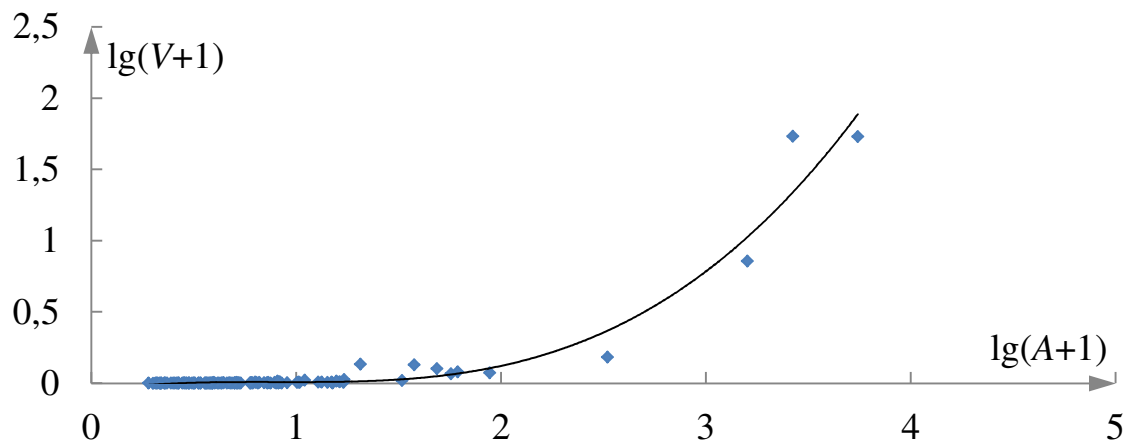
Достаточно хорошо получились зависимости для первых двух групп (рисунок 2.8). А для третьей группы озер, в которую входит всего 26 озер,

целесообразнее не ранжировать по показателю формы котловины CI , т.к. из-за небольшого количество озер зависимости получаются не точными

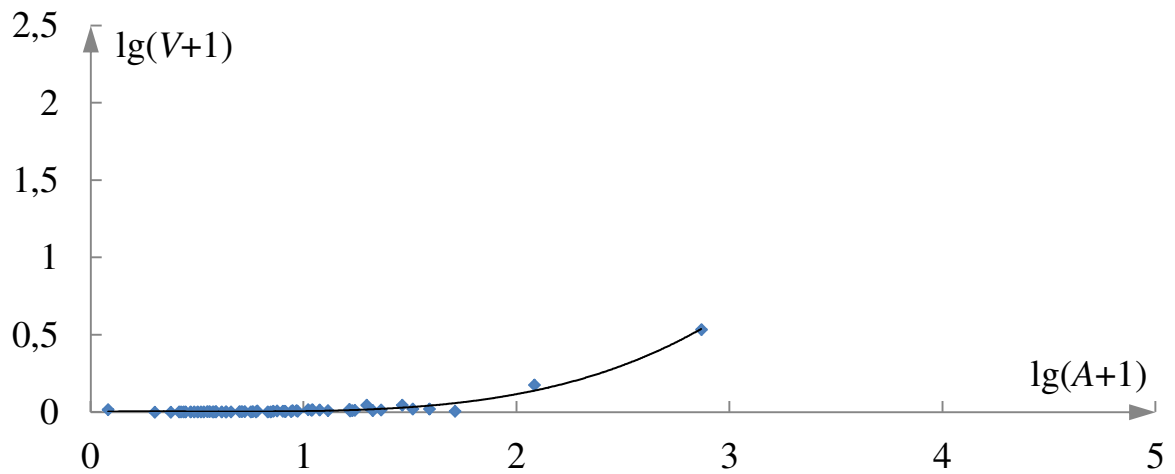




Г



Д



е

Рисунок 2.8 – Зависимость $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$ при $Z < 300$ м, $CI = 0-0.33$ (а); $Z < 300$ м, $CI = 0.33-0.66$ (б); $Z < 300$ м, $CI = 0.66-1.0$ (в). При $Z = 300-600$ м, $CI = 0-0.33$ (г); $Z = 300-600$ м, $CI = 0.33-0.66$ (д); $Z = 300-600$ м, $CI = 0.66-1.0$ (е)

Также была создана выборка по площади озера A и по площади водосбора F (таблица 2.5). В нее входят 469 озер. По этой выборке построена логарифмическая зависимость $\lg(A+1) = f(\lg(F+1))$ (рисунок 2.9). В Казахстане водосборные площади, как и площади озер из года в год не остаются постоянными [49,50]. Вследствие этого четкой зависимости не наблюдается, но тенденция увеличения площади водосбора с увеличением площади озера прослеживается.

Таблица 2.5 – Зависимость площади поверхности озера от площади его водосбора

Абсолютная высота Z , показатель формы котловины CI	Зависимость площади поверхности озера A от площади его водосбора F $\lg(A+1) = f(\lg(F+1))$	R^2
$Z < 300$ м $CI = 0 - 0.33$	$y = 0.124x^2 - 0.081x + 0.411$	0.81
$Z < 300$ м $CI = 0.33 - 0.66$	$y = 0.179x^2 - 0.182x + 0.337$	0.87
$Z < 300$ м $CI = 0.66-1.0$	$y = 0.381x^{0.804}$	0.67
$Z = 300 - 600$ м $CI = 0.33 - 0.66$	$y = 0.103x^2 - 0.095x + 0.492$	0.63
$Z = 300 - 600$ м $CI = 0.66-1.0$	$y = 0.058x^2 - 0.087x + 0.390$	0.82
$Z > 600$ м $CI = 0.33 - 0.66$	$y = 0.093x^2 + 0.211x - 0.024$	0.94

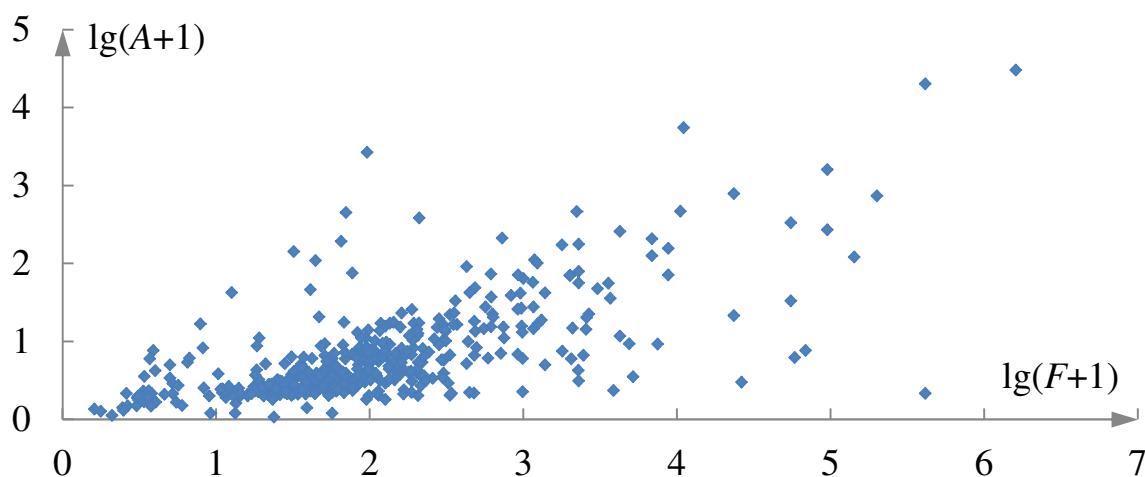
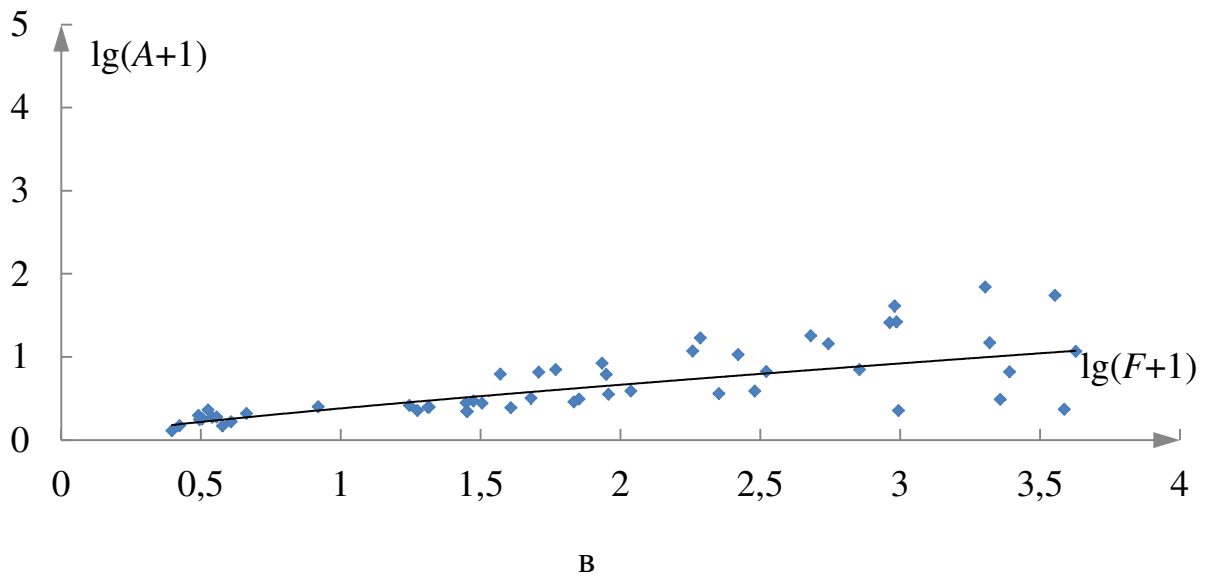
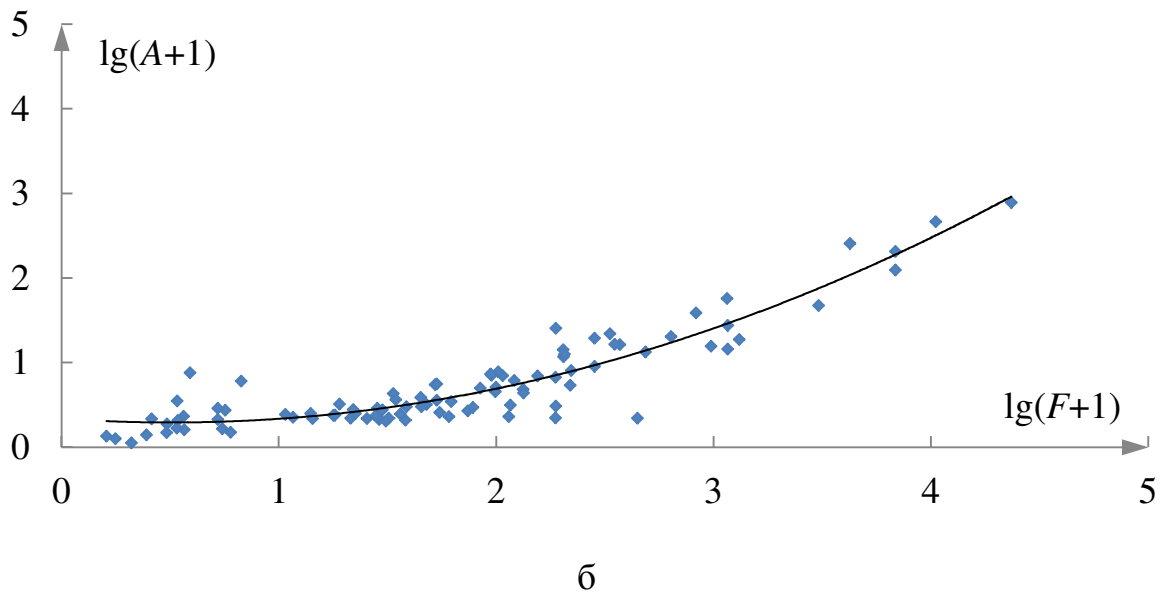
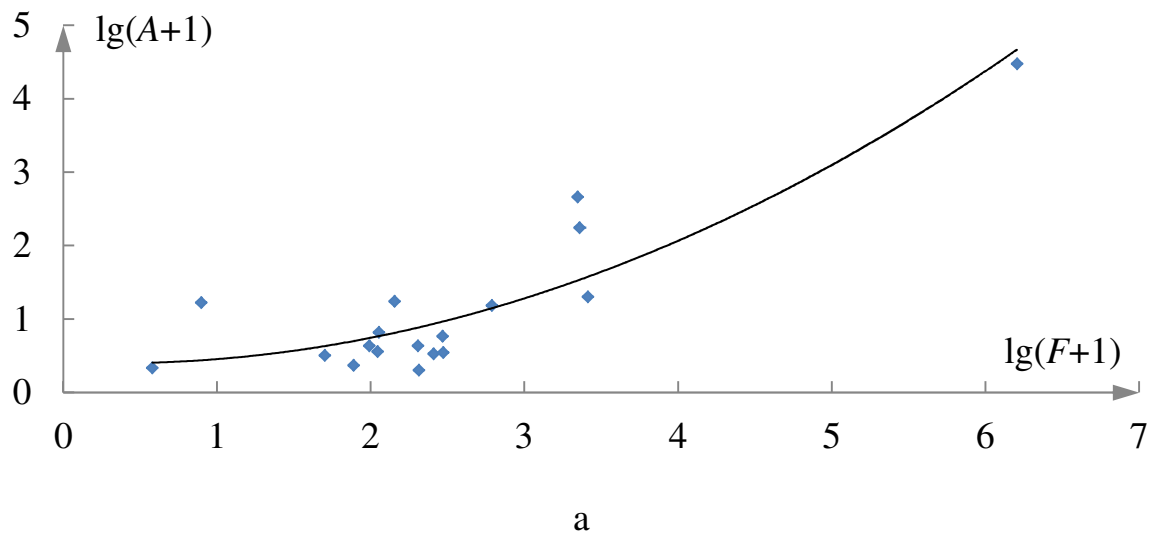


Рисунок 2.9 – Зависимость $\lg(A+1) = f(\lg(F+1))$

Далее выборка была ранжирована по Z и CI : $Z < 300$ м (168 озер), $Z = 300 - 600$ м (113 озер), $Z > 600$ м (19 озер) .



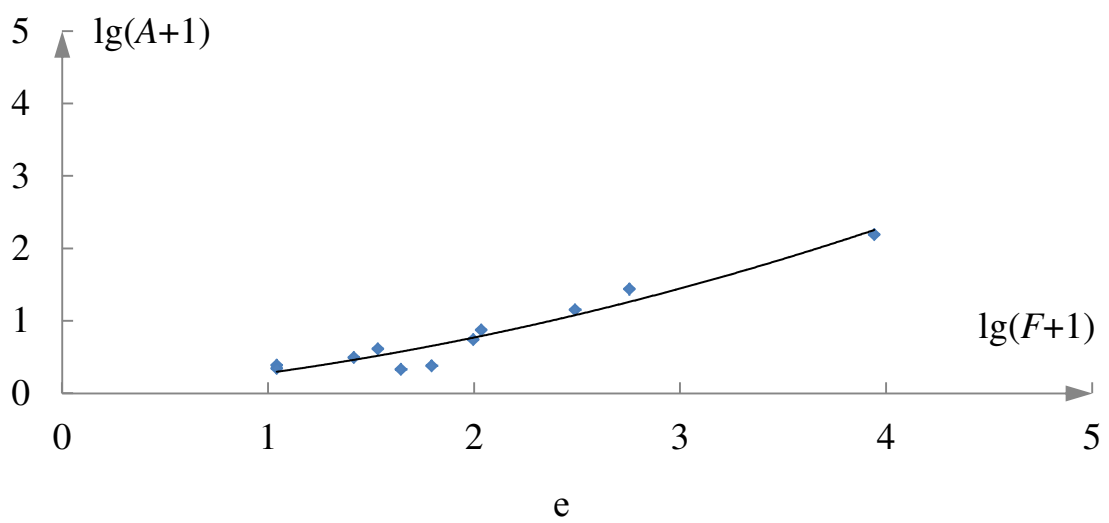
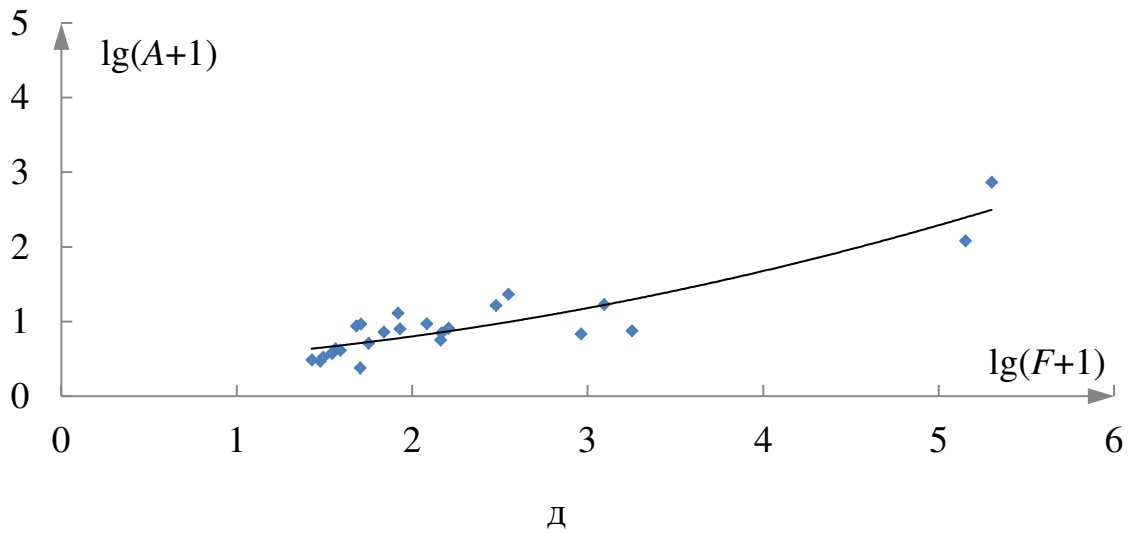
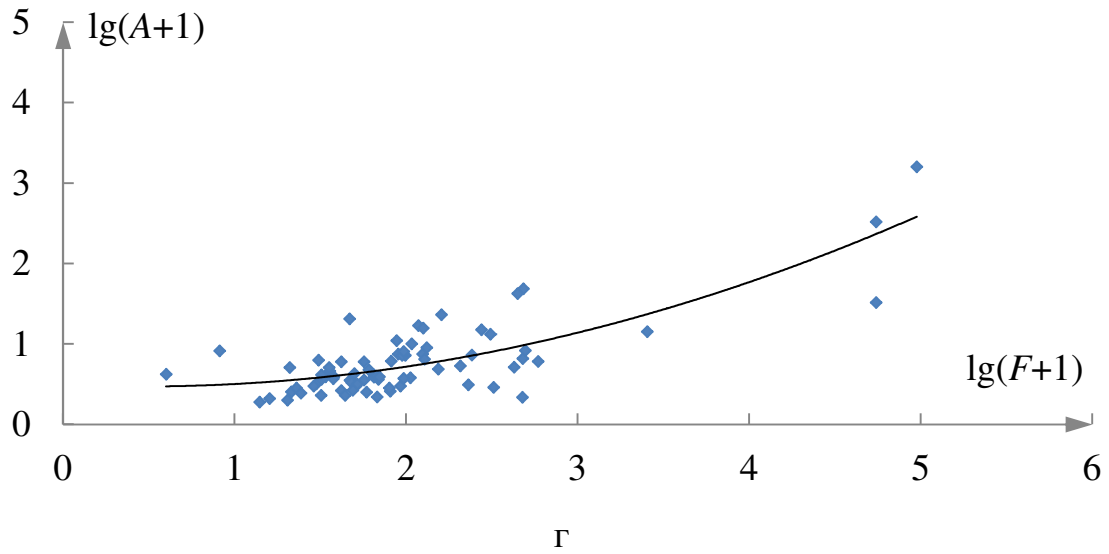


Рисунок 2.10 – Зависимость $\lg(A+1) = f(\lg(F+1))$ при $Z < 300$ м, $CI = 0-0.33$ (а); $Z < 300$ м, $CI = 0.33-0.66$ (б); $Z < 300$ м, $CI = 0.66-1.0$ (в). $Z = 300-600$ м, $CI = 0.33-0.66$ (г); $Z = 300-600$ м, $CI = 0.66-1.0$ (д); $Z > 600$ м, $CI = 0.33-0.66$ (е)

Первые две зависимости аппроксимированы полиномиальной кривой 2 степени (рисунки 2.10а, 2.10б), а для третьей лучше подходит степенная сглаженная кривая (рисунок 2.10в). В зависимости при $CI = 0.33-0.66$ были удалены отскакивающие от сглаженной кривой точки, соответствующие уникальным озерам (Шаглытенгиз, Койбагар, Как).

Во второй группе первая зависимость $\lg(A+1) = f(\lg(F+1))$ при $CI = 0-0.33$ вследствие недостаточности данных (10 озер) не имеет четко выраженной зависимости. А две другие, аппроксимированные (также как и в первой группе) полиномиальной кривой 2 степени (рисунки 2.10г, 2.10д) получились достаточно надежными. В зависимости при $CI = 0.33-0.66$ были удалены точки, соответствующие большим озерам Алаколь и Зайсан.

В третьей группе из-за недостаточности данных четких зависимостей при $CI = 0-0.33$ (входит 1 озеро) и $CI = 0.66-1.0$ (входит 4 озера) не получилось. Но при $CI = 0.33-0.66$ зависимость получилась достаточно хорошей (рисунок 2.10е). Она аппроксимирована полиномиальной кривой 2 степени с удалением точек, соответствующих уникальным озерам Маркаколь, Рахмановское и Ульмеис.

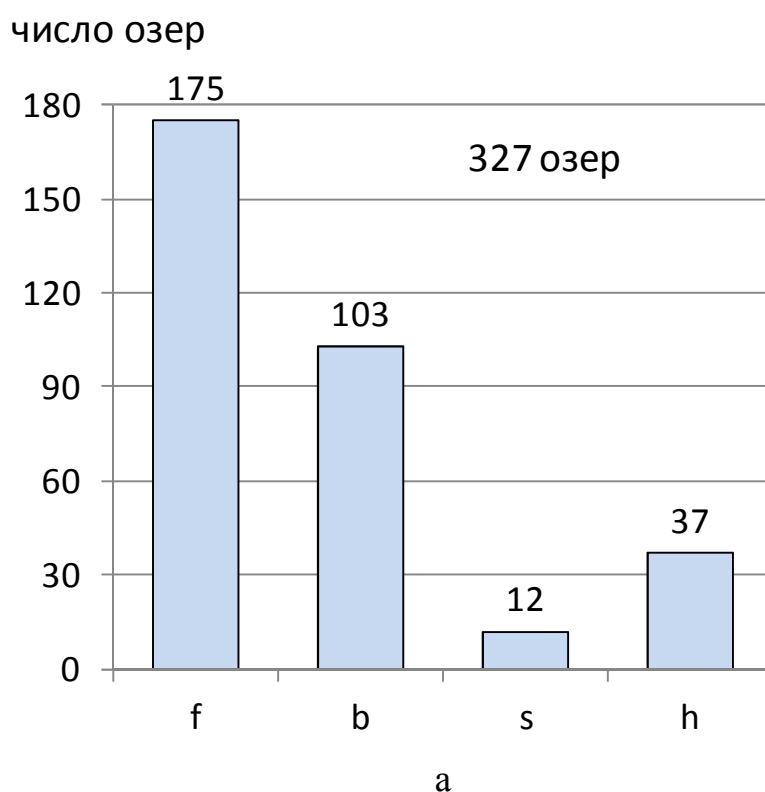
Полученные соотношения между объемами и площадями поверхности озер Казахстана, площадями поверхности озер и площадями их водосборов в зависимости от их генезиса позволяют сделать выводы о тесных связях морфометрических характеристик, где подтверждаются закономерности пространственного распределения озер: котловины одного и того же происхождения и одинакового возраста имеют схожие относительные размеры [12, 47-50, 91].

2.3 Оценка распределения гидрохимических характеристик

Для анализа распределения гидрохимических характеристик ЕОК выбраны общая минерализация (соленость) s и pH. Данные взяты из базы данных WORLDLAKE.

Для качественной оценки минерализации ЕОК использовалась широко принятая классификация [150], согласно которой пресноводные (f), солоноватые (b), соленые (s) и гиперсоленые (h) озера характеризуются значениями солености $S \leq 3.0$, $3.0 < S \leq 27.5$, $27.5 < S \leq 35.0$, $S > 35.0\text{‰}$ соответственно.

Общая минерализация s . Измерения солености s проводившиеся в 327 ЕОК (10% всех рассматриваемых) меняются в широком диапазоне: от 0.02‰ в пресных озерах до 345‰ в павлодарском гиперсоленом оз. Ажбулат ($53^{\circ}17'$ с.ш., $77^{\circ}25'$ в.д., 80.2 км²). На рисунке 2.11а показаны статистические распределения этих озер по качественным категориям и числовым значениям s (f, b, s, h – пресноводные, солоноватые, соленые и гиперсоленые соответственно по типизации [150]).



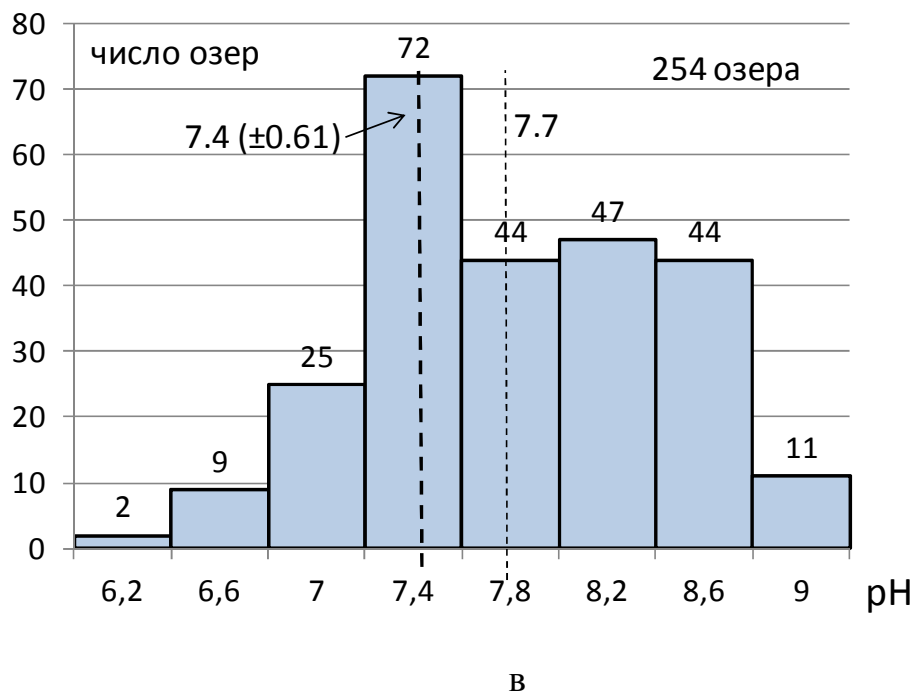
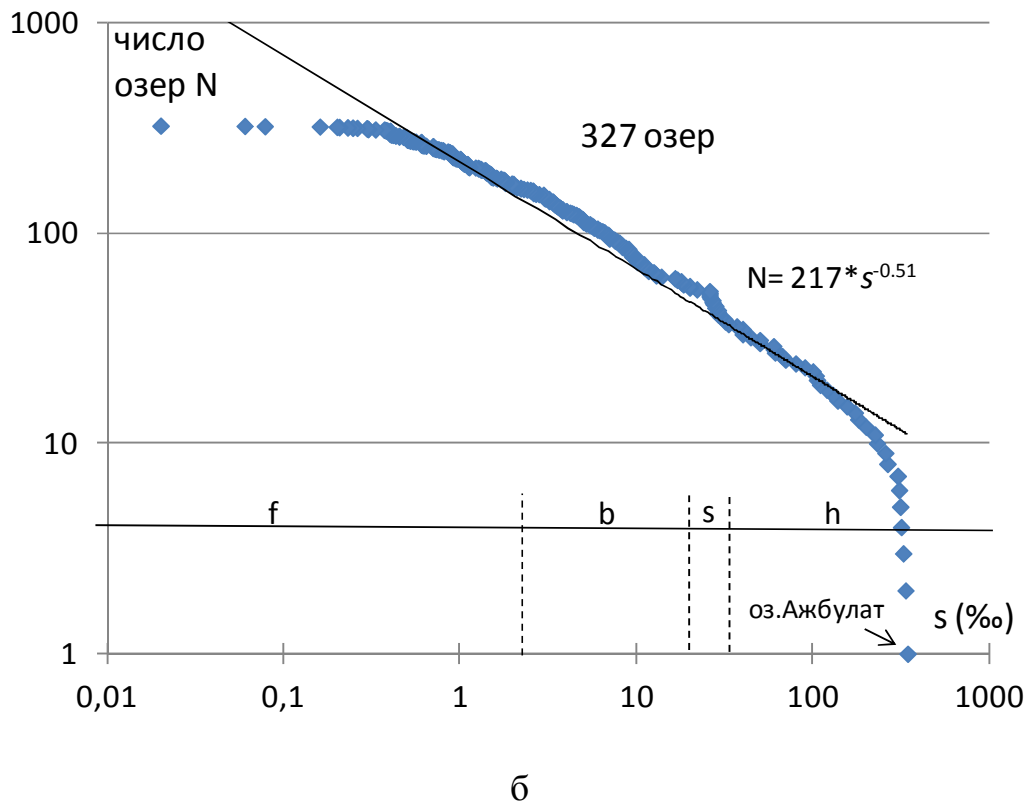


Рисунок 2.11 – Распределение значений солёности s и pH в ЕОК:

- а) распределение солёности s по категориям: f, b, s, h. б) интегральное распределение численных значений s с максимальным значением в оз. Ажбулат и степенным распределением (2.8) в промежутке 0.5-120‰;
- в) гистограмма значений pH

Отчетливо видно, что на фоне сравнительно небольшого числа соленых (12 озер, 3.7%) и гиперсоленых озер (37, 11.3%) преобладание пресноводных (175, 53.5%) и солоноватых (103, 31.5%). При этом воду 31-го озера с $s > 50\text{‰}$ можно отнести к рапе. Большинство границ категорий в классификациях озер по солености условны.

Для диапазона $s = 0.5\text{‰} - 120\text{‰}$, целиком перекрывающего солоноватые и соленые озера, зависимость между числом озер с соленостью $s \geq s_i$ и соленостью s_i имеет вид

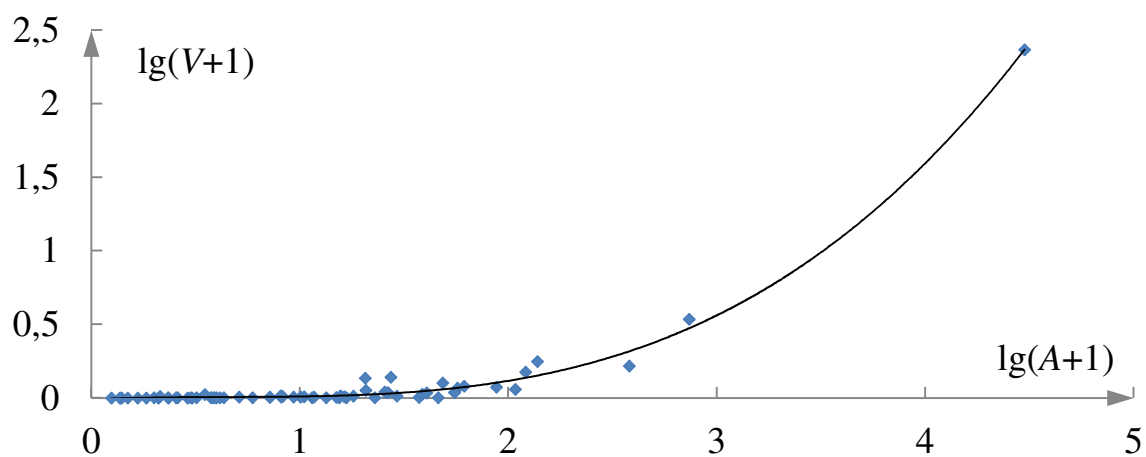
$$N(s \geq s_i) = C_1 \cdot s_i^{C_2}, \quad (2.8)$$

где $N(s \geq s_i)$ - число озер со значениями $(s \geq s_i)$, $C_1 = 2.17 \cdot 10^2$, $C_2 = -0.51$ – коэффициенты.

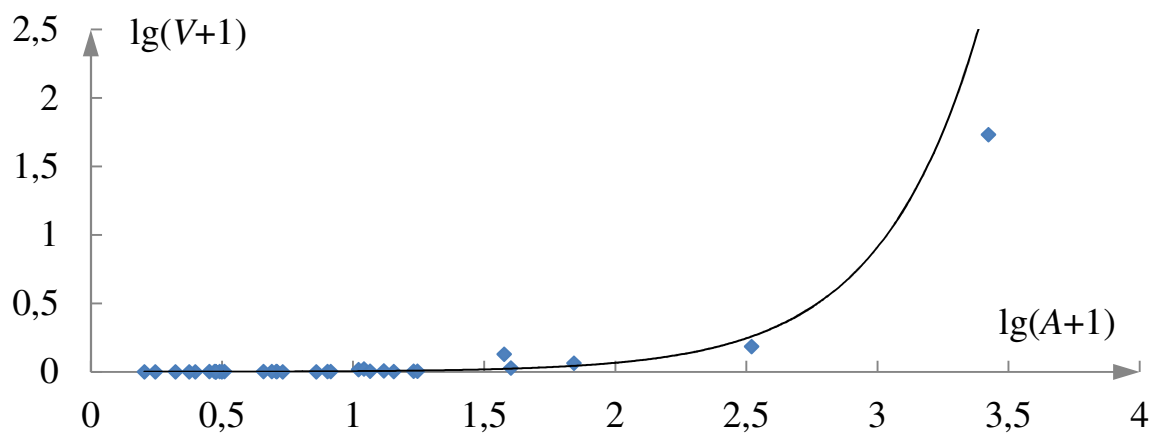
Согласно (2.8), N уменьшается с ростом солености как $\sim s^{-0.5}$ (рисунок 2.11б). Для значений солености $s < 0.5\text{‰}$ и $s > 120\text{‰}$ формула (2.8) дает для фактического числа озер с соответствующей соленостью завышенные (для $s < 1\text{‰}$) и заниженные величины (для $s > 120\text{‰}$).

Значения pH. Измерения проводились в 254 ЕОК (8% всех озер). Значения pH меняются от 9.3 в солоноватых акмолинском оз. Копы (53°47' с.ш., 69°48' в.д., 13.8 км²) и карагандинском оз. Каиндыколь (49°18' с.ш., 74°47' в.д., 2.0 км²) до 6.3 в пресноводных северо-казахстанском оз. Талдыарал (54°28' с.ш., 69°30' в.д., 20.4 км²) и акмолинском оз. Байдали (50°36' с.ш., 72°06' в.д., 2.5 км²). Гистограмма pH со средним значением 7.7, среднеквадратическим отклонением $\sigma = 0.61$, модой 7.4, асимметрией и эксцессом, равными 0.21 и -0.065 соответственно (рисунок 2.11в), близка к нормальной и указывает на преобладание озер со значениями pH, близкими к нейтральным.

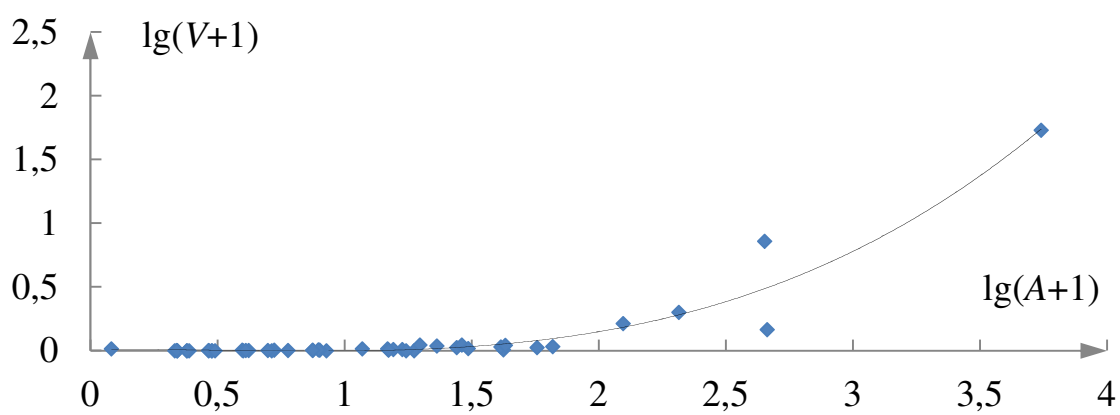
Интересными в изучении являются соотношения морфометрических характеристик озер в зависимости от степени их минерализации. Для этого также на основе сведений базы данных WORLDLAKE были построены показательные графики функций $\lg(V+1) = f(\lg(A+1))$ для озер различной минерализации (рисунок 2.12).



а



б



в

Рисунок 2.12 – Зависимости $\lg(V+1)=f(\lg(A+1))$ для пресных (а), солоноватых (б) и соленых озер (в)

3 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕР ПО УСЛОВИЯМ ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ВОДООБМЕНА

3.1 Расчет коэффициентов внешнего водообмена озер

Длительность пребывания в водоеме поступивших в него вод - один из основных факторов трансформации этих вод и формирования водных масс. В связи с этим весьма большое значение имеет интенсивность внешнего водообмена – смены заполняющих котловину вод новыми.

Исследование водного баланса озер дает возможность оценить характер их внешнего водообмена, что является одним из основных фундаментальных вопросов формирования вод суши [14, 15, 44, 51, 51, 98, 122 и др.]. В работе [83] подробно изучался внешний водообмен озер зоны избыточного и достаточного увлажнения.

Внешний водообмен озер является одной из важнейших гидрологических и гидроэкологических характеристик. От скорости обмена водной массы зависит гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы. Внешний водообмен определяется количеством воды, поступившей в водоем, и размером озерной котловины. Количество поступившей воды (поверхностный и подземный приток, осадки на водное зеркало) зависит, прежде всего, от увлажненности территории, от зонального фактора, а также от величины площади водосбора озера и размеров его котловины, т.е. от азональных факторов [83].

В качестве основной характеристики внешнего водообмена сточных водоемов принят показатель условного водообмена K_B , равный отношению стока из водоема за некоторый промежуток времени V_{cm} к среднему объему воды водоема за тот же период V_B :

$$K_B = V_{cm} / V_B \quad (3.1)$$

Для сравнения водообмена различных по структуре водного баланса водоемов, в том числе и бессточных, и оценки общего количества воды, участвующего в водообмене, применяют другой показатель:

$$K_{BB} = V_B / V_B, \quad (3.2)$$

где V_B - объем воды, участвующий в водообмене за некоторый промежуток времени; для уровенного водного баланса он равен сумме приходных (приток плюс осадки) или расходных (сток плюс испарение) элементов баланса.

Средний коэффициент водообмена α_{np} равен:

$$\alpha_{np} = (V_{cm} + V_{np}) / V_0. \quad (3.3)$$

Величина, обратная коэффициенту водообмена, называется периодом водообмена и характеризует период времени, в течение которого происходит полная смена воды в водоеме. Условное число лет α_T необходимое для смены воды озера водой с водосборной площади вычисляется по формуле:

$$\alpha_T = V / [F_{оз} \times (P - E) + F_{всб} \times (P - E_T)], \quad (3.4)$$

где P - годовые осадки; E - испарение с озера; E_T - испарение с водосборной площади.

Коэффициенты внешнего водообмена $K_{B,np}$ (по притоку) и $K_{B,cm}$ (по стоку) являются условными, так как рассчитываются при допущении, что вода в озере полностью заменяется новой, т.е. вытесняется из него, не смешиваясь. В естественных озерах это встречается крайне редко. Тем не менее, несмотря на такую схематичность, коэффициенты водообмена являются наиболее показательными при сравнительно изучении озер, расположенных в различных физико-географических зонах.

Коэффициент водообмена, рассчитанный по притоку, в большей мере определяет преобладание в озере или терригенных, или лимнических процессов.

При этом малые значения $K_{B,np}$ указывают на приоритет лимнических явлений. При возрастании $K_{B,np}$ увеличивается роль терригенных процессов [54]. Коэффициент водообмена, определенный по стоку, характеризует транзитно-аккумуляционные возможности озер и также определяет тип лимногенеза [13,14].

Отмечается, что в исследовании внешнего водообмена озер нерешен вопрос о роли в формировании водообмена климатических факторов и факторов подстилающей поверхности [51, 83, 199]. Условные коэффициенты, традиционно используемые в гидрологических исследованиях для характеристики внешнего водообмена озер, не учитывают зависимости от физико-географических факторов. В то же время различное строение озерных систем, их местоположение предопределяют разное участие в формировании водообмена климатических (активных) и морфометрических (адаптивных) факторов. В связи с этим возникает необходимость построения такого комплексного индекса, который учитывал бы не только все многообразие факторов, влияющих на водообмен, но и синтезировал бы единые сводные оценки, учитывающие раздельное влияние активных и адаптивных факторов. Это позволит выявить наиболее чувствительные факторы, влияющие на величину водообмена при антропогенном вмешательстве.

В данной работе были рассчитаны 3 набора коэффициентов внешнего водообмена: по притоку, по притоку и осадкам, по испарению [Приложение Б]. Для этого были использованы данные по 129 озерным системам Северного Казахстана: площадь водосбора (были введены поправки на бессточные понижения), площадь поверхности озера, объем озера, модуль стока (снятый с карт Мирового водного баланса (1974), где были введены поправки на редукцию), также с карт были сняты значения испарения E и осадков P на площадь поверхности озера.

При анализе результатов были сделаны следующие выводы:

- коэффициенты внешнего водообмена по притоку ($K_{B,пр}$) намного меньше остальных двух видов коэффициентов водообмена. Это связано с тем, что объем притока с водосборной площади намного меньше осадков на площадь зеркала. Испарение также преобладает над притоком;

- практически все озера (129) по классификации (таблица 3.1) являются водоемами с замедленным водообменом по водообмену по притоку, притоку и осадкам, испарению, за исключением озера Алтайсор, которое является озером с умеренным водообменом. Следовательно, подавляющее большинство озер Северного Казахстана являются озерами с замедленным водообменом;

- согласно более подробной классификации (таблица 3.1) распределение озер оказалось следующим (рисунок 3.1):

Преобладающая часть озер является аккумулятивными. Причем преобладающая доля озер имеет K_e от 1 до 0,1. Здесь играет роль водообмена по притоку и осадкам и водообмен по испарению. Для водообмена по притоку характерны озера с K_e от 0,1 до значений меньше 0,03.

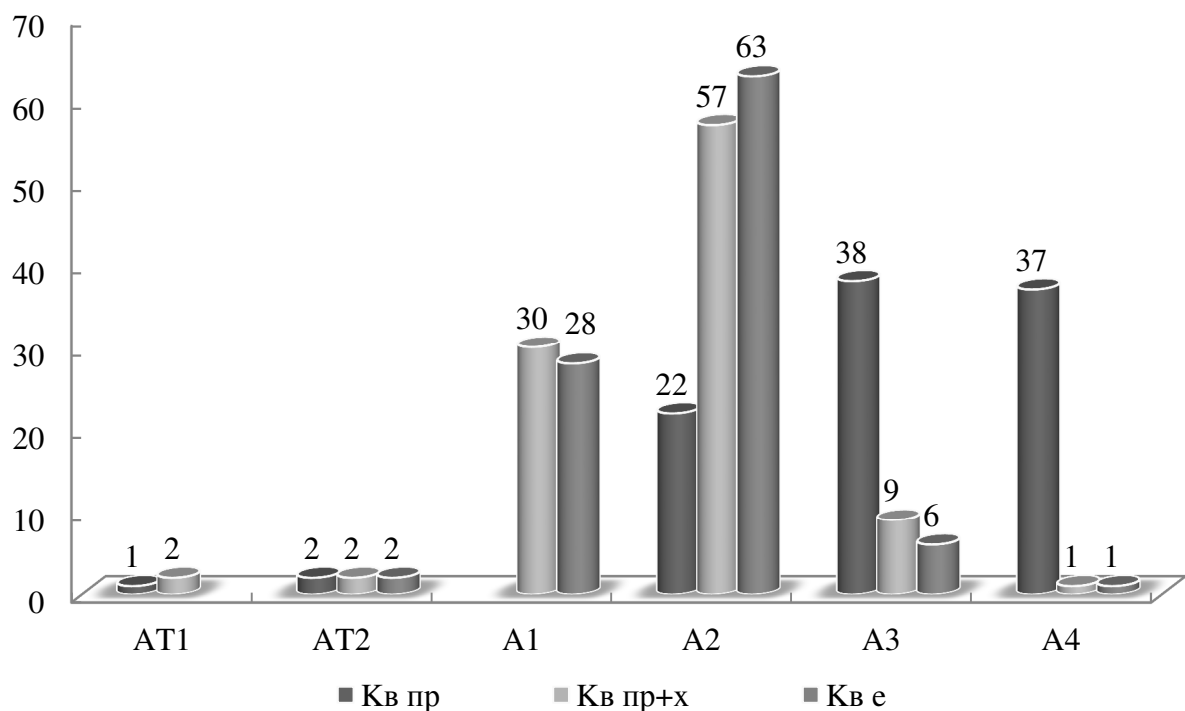


Рисунок 3.1 – Распределение озер Северного Казахстана по коэффициентам внешнего водообмена, %

Таблица 3.1 – Классификация континентальных водоемов по величине внешнего водообмена (по Б.Б. Богословскому)

Класс	Индекс	Водные объекты	Водообмен		Примеры водоемов
			Кв*	Период обмена	
Транзитные					
1	T1	Участки рек со скоростью течения > 1 м/с, малые водохранилища	Более 300	Часы	
2	T2	Участки рек со скоростью течения 0,3-1,0 м/с, водохранилища суточного регулирования	100 - 300	Сутки	
Транзитно-аккумулятивные					
3	TA1	Сильно проточные озера и водохранилища	30 - 100	Сутки - неделя	
4	TA2	Проточные озера, водохранилища недельного и месячного регулирования	10 - 30	Недели - месяц	
Аккумулятивно-транзитные					
5	AT1	Среднепроточные озера, водохранилища сезонного регулирования	3 - 10	Месяцы - сезон	
6	AT2	Слабопроточные озера, водохранилища сезонного и многолетнего регулирования	1 - 3	Сезоны - год	
Аккумулятивные					
7	A1	Озера с замедленным водообменом, водохранилища многолетнего регулирования	0,3 – 1	Годы	
8	A2	Крупные бессточные и сточные озера с малым водообменом	0,1 - 0,3	Годы - десять лет	Озеро Телецкое, Ханка, Балхаш, Маныч
9	A3	Крупные сточные и бессточные озера с весьма малым водообменом	0,03 - 0,1	Десятки лет	Ладожское, Арал Онежское, Топоозеро
10	A4	Озера с исключительно малым водообменом	Меньше 0,03	Сотни и тысячи лет	Байкал, Севан, Иссык-Куль, Каспий

К среднепроточным озерам относится, к примеру, акмолинское озеро Алтайсор, слабопроточным является кокшетауское озеро Копа. Озером с замедленным водообменом является северо-казахстанское озеро Алабота, озерами с малым водообменом являются карагандинское озеро Токумак и павлодарское озеро Экибастуз. К озерам с весьма малым водообменом относятся Кумдыколь, северо-казахстанское озеро Карасор, восточно-казахстанское озеро Бегень. Исключительно малым водообменом обладают озера Селетытенгиз, актюбинское Калатуз, озера Айтеке, Ялы, северо-казахстанское озеро Тулумбай, акмолинское озеро Жукей.

3.2 Морфометрические индексы внешнего водообмена озер

Внешний водообмен определяется как климатическими факторами, так и строением озерных систем [51, 83, 199].

Многими полезными свойствами обладает теория стохастического моделирования дефицита информации и неопределенности суждений о приоритетах оценивания и разработанный на ее основе метод рандомизированных сводных показателей (МРСП) [135]. Основы и некоторые приложения этого метода для оценки экологического состояния водных объектов и качества среды различных территорий даны [39, 40, 51, 83].

Процесс оценки информации в МРСП делится на следующие этапы:

1. задание отдельных показателей;
2. выбор синтезирующей функции;
3. определение весовых коэффициентов.

Для их осуществления разработаны и используются следующие три принципа [135].

1. Принцип линеаризации, позволяющий переходить от частично упорядоченного множества векторов отдельных показателей объектов к линейно упорядоченному множеству сводных оценок этих объектов.

2. Принцип арифметизации, позволяющий получать числовые оценки для исходной нечисловой информации, лежащей в основе построения показателей и определения весовых коэффициентов.

3. Принцип рандомизации, позволяющий моделировать дефицит, обычно существующий на всех этапах синтеза сводных оценок сложных многопараметрических объектов. Эти три принципа составляют теоретическую основу метода многокритериального оценивания.

Реализация методики построения обобщенных показателей на основе моделирования дефицита информации осуществляется в виде последовательности операций четырех этапов:

На первом этапе отбирается обоснованная система показателей, посредством которых возможно описание состояния сложного природного объекта. Формируется матрица вида:

$$\begin{vmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_i^{(1)} & \dots & x_m^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(j)} & \dots & x_i^{(j)} & \dots & x_m^{(j)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(k)} & \dots & x_i^{(k)} & \dots & x_m^{(k)} \end{vmatrix}, \quad (3.5)$$

Где $x_i^{(j)}$ – значение i -го параметра x_i , $i = 1, 2, 3, \dots, m$ для j -го объекта $u^{(j)}$, $j = 1, \dots, k$. Каждый из параметров должен быть необходим, а все вместе достаточны для описания состояния рассматриваемого объекта. При этом могут существовать характеристики, увеличение значений которых ведет к улучшению состояния объекта, а также характеристики, увеличению значений которых приводит к ухудшению состояния объекта.

На втором этапе с помощью функциональных преобразований создают отдельные показатели q_i . К примеру, отдельные показатели могут быть получены с помощью нормирующих функций вида:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max} \\ 1 & x_i > x_{\max} \end{cases} \quad (3.6)$$

или

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max} \\ 0 & x_i > x_{\max} \end{cases} \quad (3.7)$$

Каждый показатель q_i , являясь функцией $q_i = q_i(x_i)$ исходной характеристики x_i , позволяет оценить состояние объекта с точки зрения i -го критерия. Диапазон изменения q_i находится в пределах от 0 до 1. При этом состояние объекта полностью характеризуется вектором показателей $q = (q_1, \dots, q_m)$, представленных матрицей вида:

$$\begin{vmatrix} q_1^{(1)} & \dots & q_i^{(1)} & \dots & q_m^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_1^{(j)} & \dots & q_i^{(j)} & \dots & q_m^{(j)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_1^{(k)} & \dots & q_i^{(k)} & \dots & q_m^{(k)} \end{vmatrix} \quad (3.8)$$

Здесь $q_i^{(j)}$ есть значение i -го отдельного показателя q_i , $i = 1, \dots, m$ для j -го объекта $u^{(j)}$, $j = 1, \dots, k$.

Таким образом, исходные параметры, полученные в различных шкалах измерения, приводятся к единой безразмерной школе, после чего над их значениями стало возможно производить математические действия с целью получения комплексного показателя состояния объекта.

На третьем этапе выбирается интерпретирующая функция комплексного показателя $Q(q, m)$. Комплексный показатель строится таким образом, что зависит не только от отдельных показателей $q_1, \dots, q_m$, но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами $w_1, \dots, w_m$, $w_i \geq 0$, $w_1 + \dots + w_m = 1$, образующими вектор $w = (w_1, \dots, w_m)$.

В качестве выражения для комплексного показателя можно предложить линейную функцию вида

$$Q^{(j)} = Q[q^{(j)}] = \sum_{i=1}^m w_i q_i^{(j)}, \quad (3.9)$$

Где весовой коэффициент (“вес”) w_i указывает степень значимости отдельного показателя q_i .

На четвертом этапе строятся оценки весовых коэффициентов w_i . Как правило, уже само составление программы оценочных исследований является первичных «взвешиванием» параметров. Однако, такое взвешивание является недостаточным, так как влияние отобранных главных факторов также неравнозначно, что вызывает необходимость придавать при оценке различным параметрам разные приоритеты, веса или коэффициенты значимости. Нередко при этом вес вводится без какого-либо четкого обоснования.

Этот этап в методе построения сводного показателя является самым сложным из-за обычно ограниченной информации о точных числовых значения «весов». Как правило, исследователь обладает лишь нечисловой информацией, которую можно выразить сравнительными суждениями типа «характеристика x_i важнее, чем характеристика x_j », «характеристики x_r, x_s имеют одинаковую важность» и представить в виде системы равенств и неравенств:

$$OI = \{w_i > w_j, w_r = w_s, i, j, r, s = 1, \dots, m\}. \quad (3.10)$$

В лучшем случае исследователь может знать интервалы возможного изменения весовых коэффициентов, т.е. владеть неточной информацией:

$$II = \{0 \leq a_i \leq w_i \leq b_i \leq 1, i = 1, \dots, m\}. \quad (3.11)$$

Такая нечисловая (порядковая) и неточная (интервальная) информация является зачастую и неполной: не для всех весовых коэффициентов заданы равенства и неравенства, соответствующие интервальной и порядковой информации.

В соответствии с методологией АСПИД оценки, $\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_m$ весовых коэффициентов $w_1, \dots, w_m$ строятся по экспертной информации I , имеющейся у исследователя.

Для получения оценок $\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_m$ весовых коэффициентов $w_1, \dots, w_m$ необходимо задать шаг дискретизации $h = 1/n$ весовых коэффициентов: $w_i^{(t)} \in \{0, n^{-1}, 2n^{-1}, \dots, (n-1)n^{-1}, 1\}$. Тогда будет существовать $N(m, n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!}$ возможных наборов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})$ весовых коэффициентов, образующих класс $W(m, n)$. Так, например, при задании числа показателей $m = 5$, а шага дискретизации $n = 20$ количество возможных наборов $N(m, n) = 10\,626$. Учет дополнительной информации $I = OI + \Pi$ позволяет перейти к классу допустимых векторов $W(m, n; I)$, содержащему число векторов $N(m, n; I) \leq N(m, n)$. Так, например, введение дополнительной информации I в виде системы неравенств $\{w_1 > w_2 > w_3 > w_4 > w_5 > 0,05\}$ снижает $N(m, n)$ до $N(m, n; I) = 7$.

Поскольку информация I обычно задает не единственный набор весовых коэффициентов, а целое множество допустимых наборов, возникает проблема неопределенности выбора весовых коэффициентов, что затрудняет непосредственное применение метода сводных показателей. Для преодоления этого затруднения Н.В. Хованов предложил использовать байесовскую модель рандомизации неопределенности [135]. Идея этой модели состоит в переходе от неопределенного выбора весовых коэффициентов к их случайному (рандомизированному) выбору из множества всех допустимых наборов. Иначе говоря, рассчитываются случайные весовые коэффициенты и случайные (рандомизированные) сводные показатели.

Для оценки статистических параметров рандомизированного вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, равномерно распределенного на множестве $W(m, n; I)$, генерируется все возможные элементы этого множества. Дополнительная информация Π , имеющая вид системы неравенств (5.10-5.11) (неполная, неточная, нечеткая

(ннн) – информация Ш), учитывается при помощи фильтра, работающего на выходе генератора допустимых векторов и отбирающего те из них. Которые удовлетворяют условиям ннн – информации Ш. Сформированное таким образом множество $W(m,n;I)$ позволяет находить статистические характеристики рандомизированного набора весовых коэффициентов $\tilde{w}(I) = (\tilde{w}_1(I), \dots, \tilde{w}_m(I))$, моделирующего неопределенность выбора весовых коэффициентов при наличии информации.

Существует несколько подходов к моделированию дискретной m -мерной случайной величины $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, равномерно распределенной на множестве $W(m,n)$. Один из них, использованный в настоящей работе, заключается в генерировании вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, методом перебора всех его возможных значений из множества $W(m,n)$. При этом вектору $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, из множества $W(m,n)$ взаимно однозначно сопоставляется целочисленная случайная композиция $\tilde{\delta} = (\tilde{\delta}_1, \dots, \tilde{\delta}_m)$, $\tilde{\delta}_i \geq 0, \tilde{\delta}_1 + \dots + \tilde{\delta}_m = n$, имеющая равновероятные реализации $\delta^{(t)} = (\delta_1^{(t)}, \dots, \delta_m^{(t)})$ из множества $\Delta(m,n)$. Случайная композиция представляет собой объект, подробно изученный в комбинаторной математике. Другой подход, к моделированию состоит в использовании метода Монте-Карло, позволяющего строить конечную выборку из генеральной совокупности для широкого класса комбинаторных объектов.

Теперь мы можем получить числовые оценки весовых коэффициентов, например, в виде математического ожидания $\bar{w}_i(I) = M\tilde{w}_i(I)$, соответствующих рандомизированных весов, определяемого по формуле:

$$M\tilde{w}_i(I) = \frac{1}{N(m,n;I)} \sum_{t \in T(m,n;I)} w_i^{(t)}. \quad (3.12)$$

Точность такой оценки естественно оценить стандартным отклонением $s_i(I) = \sqrt{D\tilde{w}_i(I)}$,

$$\text{где} \quad D\tilde{w}_i(I) = \frac{1}{N(m,n;I)} \sum_{t \in T(m,n;I)} [w_i^{(t)} - M\tilde{w}_i(I)]^2, \quad (3.13)$$

а $\bar{w}(I) = [\bar{w}_1(I), \dots, \bar{w}_m(I)]$ - вектор случайных весовых коэффициентов.

В этих формулах суммирование ведется по множеству индексов $T(m, n; I)$, состоящему из тех значений t , которые соответствуют векторам $w^{(t)}$, входящим в множество допустимых векторов $W(m, n; I)$.

Таким образом, вектор оценок $\bar{w}(I) = [\bar{w}_1(I), \dots, \bar{w}_m(I)]$ можно интерпретировать как «числовой образ» нечисловой информации I .

Подставляя случайные весовые коэффициенты в выражение (3.9) для сводного показателя, получаем рандомизированный сводный показатель:

$$\tilde{Q}^{(j)}(I) = \sum_{i=1}^m q_i^{(j)} \tilde{w}_i(I), \quad (3.14)$$

представляющий собой случайную величину, распределенную на отрезке от 0 до 1. Естественной искомой сводной оценкой может служить математическое ожидание

$\bar{Q}^{(j)}(I) = M\tilde{Q}^{(j)}(I)$ рандомизированного сводного показателя $\tilde{Q}^{(j)}(I)$, определяемого по формуле:

$$M\tilde{Q}(q) = \frac{1}{N(n, m; I)} \sum_{t \in T(n, m; I)} Q(q; w^{(t)}) \quad (3.15)$$

Тогда, точность этой оценки можно измерять при помощи стандартного отклонения $S^{(j)}(I) = \sqrt{D\tilde{Q}^{(j)}(I)}$ в соответствии с выражением

$$D\tilde{Q}(q) = \frac{1}{N(n, m; I)} \sum_{t \in T(m, n; I)} [Q(q; w^{(t)}) - M\tilde{Q}(q)]^2. \quad (3.16)$$

При синтезе сводных показателей (решение прямой задачи) информация I накладывается на весовые коэффициенты w_i , которые ранжируются с учетом степени влияния отдельных показателей на сводный показатель. При анализе сводных показателей (решение обратной задачи) экспертная информация I

задается для объектов, которые выстраиваются в зависимости от степени проявления искомого качества. Последовательное решение прямой и обратной задач позволяет корректировать априорную информацию, задаваемую экспертом.

Переход от первого этапа построения сводных показателей к третьему этапу приводит к частичному упорядочению всех объектов по степени проявления оцениваемого качества. Такое упорядочение производится через введение отношения покомпонентного доминирования на множестве всех рассматриваемых объектов. Это отношение предполагает, что объект $q^{(r)}$ предпочтительнее по выбранному качеству, чем объект $q^{(s)}$ тогда и только тогда, когда он не менее предпочтителен по каждому отдельному критерию ($q_i^{(r)} > q_i^{(s)}$) и существует критерий, по которому первый объект предпочтительнее второго ($q_j^{(r)} > q_j^{(s)}$). Наличие на третьем этапе большого числа несравнимых объектов приводит к необходимости перехода к четвертому этапу. На этом этапе, привлекая дополнительную экспертную информацию, все же удастся сравнивать несравнимые векторы отдельных показателей. Переход от векторов $q^{(r)}$, $q^{(s)}$ к сводным показателям $Q(q^{(r)}), \dots, Q(q^{(s)})$ обеспечивает линейное упорядочение всех объектов по степени проявления искомого качества. Синтезирующая функция $Q(q)$ является монотонной, ее построение осуществляет линеаризацию множества векторов отдельных показателей, частично упорядоченных на предыдущем этапе отношением покомпонентного доминирования.

Морфометрические особенности водообмена озер могут быть с достаточной полнотой описаны с учетом следующих относительно независимых исходных характеристик (Приложение В) [83]: x_1 – площадь водосбора F , x_2 – объем озера V , x_3 – коэффициент удельного водосбора ($K = F/A$), x_4 – показатель формы котловины CI , x_5 – высота озера над уровнем моря Z .

Для расчета морфометрических индексов внешнего водообмена озер были выбраны 129 озерных систем Северного Казахстана, расположенных между 50 и 55° с.ш. и 56 и 80° в.д. Данные были сняты с карт Мирового водного баланса 1974 г. [5, 78].

Диапазоны изменения исходных морфометрических характеристик весьма различны. Так, площади водосбора изменяются от 4.8 км² для озера Козявочное до 23400 км² для озера Селетытенгиз, находящегося на границе Кокшетауской и Павлодарской областей Северного Казахстана.

Высота зеркала озер над уровнем моря варьирует от 28 м для озера Теке до 680 м для озера Жукей. Преобладающее большинство озер (около 70%) находятся в высотном поясе от 100 до 200 м над уровнем моря.

По классификации, выполненной П.В. Ивановым [62], большая часть выбранных озер (около 80%) имеет площадь поверхности в пределах от 1 до 10 км² и может быть отнесена к категории «малые». Для 14% водоемов площадь водной поверхности изменяется от 10 до 100 км². Это – «средние озера».

Объемы озер изменяются от 0.00086 км³ (Маралды, Муялды, Кунек, Экибастуз и др.) до 279 км³ (Имантау, Жукей, Атансор). В соответствии с классификацией, принятой в нормативной документации [32], преобладающее большинство исследуемых водоемов (около 83%) характеризуется малым объемом (до 0,5 км³). В категории средних водоемов ($1.0 \text{ км}^3 > V > 0.5 \text{ км}^3$) озера региона не представлены. К категории больших водоемов ($10.0 \text{ км}^3 > V > 1.0 \text{ км}^3$) относятся около 4% (Карасор, Селетытенгиз, Каргайчик), к категории очень больших озер ($100 \text{ км}^3 > V > 10 \text{ км}^3$) относится также около 4% водоемов (Жукей, Айдабуль, Жамантуз).

Удельные водосборы озер изменяются от 0.89 для озера Калатуз до 295 для озера Копа. По классификации С.В. Григорьева [36] около 29% исследованных озер имеют малые удельные водосборы ($K < 10$). Более половины объектов (69%) относится к категории со средним удельным водосбором ($10 < K < 100$) и только около 2% - к категории с большим удельным водосбором ($100 < K$).

Показатель формы котловины варьирует от 0.31 (озеро Аксуат) до 5.95 (озеро Кемиртуз).

Поскольку диапазоны изменения характеристик сильно варьировали, то возникла необходимость их предварительного «нормирования». Для этого вместо исходной характеристики x_i рассматривается нормированная характеристика $q_i = q_i(x_i)$, где q_i - некоторая монотонная (возрастающая или убывающая) функция, такая, что $0 \leq q_i \leq 1$, $i = 1, \dots, m$. При этом указанная нормирующая функция q_i может быть интерпретирован как отдельный показатель или критерий интенсивности внешнего водообмена озер. Так, например, в нашем случае, $q_1 = 0$ (нормированная площадь водосбора) соответствует практически бесприточному озеру, а $q_1 = 1$ - сточному. Аналогично интерпретируются и другие отдельные характеристики водообмена. В результате нормирования исходных морфометрических характеристик для j -той озерной системы был получен вектор $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$ отдельных показателей $q_1, \dots, q_5$, каждый из которых оценивает внешний водообмен озера с точки зрения соответствующей исходной характеристики. Иными словами, вектор $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$ есть *многокритериальная оценка особенностей внешнего водообмена, определяемых морфометрией*.

Для таких исходных характеристик, как F , K , Z была выбрана простейшая линейная возрастающая нормирующая функция, задаваемая формулой (3.6). Для показателей V и CI использовался другой вид зависимости – линейная убывающая функция вида (3.7). Для озер, расположенных в одинаковых по увлажненности условиях, при прочих равных условиях водообмен будет тем больше, чем водосборная площадь, с которой собирается поверхностный и подземный приток. С увеличением удельного водосбора при прочих равных условиях увеличивается доля притока и стока в водном балансе озера, а следовательно, возрастает и внешний водообмен. Водообмен озер при одинаковых значениях удельного водосбора уменьшается при изменении формы котловины от усеченного конуса к цилиндру. При увеличении высоты

озера над уровнем моря увеличивается количество осадков и уменьшается температура воздуха, а, следовательно, увеличивается внешний водообмен.

При расчетах было учтено, что сводный показатель есть линейная функция вида (3.14). Также были заданы четыре варианта дополнительной экспертной информации I о сравнительной значимости отдельных морфометрических показателей внешнего водообмена озер. Получены четыре набора оценок $Q^{(j)}(I) = MM^{(j)}$, $j = 1, \dots, N$, где N – количество озерных систем, и четыре набора значений $S^{(j)}(I)$ точности этих оценок. Значения весовых коэффициентов, использованные для их расчета, даны в Таблице 3.2

Распределение по территории морфометрических индексов водообмена озер MM для пяти различных вариантов дополнительной экспертной информации отличается несущественно. Поэтому для анализа был выбран первый вариант распределения MM для территории Северного Казахстана (рисунок 3.2).

Таблица 3.2 – Оценки весовых коэффициентов $\tilde{w}_i$ при расчете морфометрического индекса внешнего водообмена озер

Дополнительная экспертная информация (вариант расстановки приоритетов)	$M_{\tilde{w}_i} \pm S_{\tilde{w}_i}$				
	F	Z	K	CI	V
$K=F=V>CI>Z$	0.27 ± 0.02	0.27 ± 0.02	0.05 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.27 ± 0.02
$K=F=V>CI=Z$	0.3 ± 0	0.3 ± 0	0.05 ± 0	0.05 ± 0	0.3 ± 0
$K>F=V>CI=Z$	0.18 ± 0.07	0.54 ± 0.18	0.05 ± 0.05	0.05 ± 0.05	0.18 ± 0.07
$K>F>V>CI>Z$	0.28 ± 0.05	0.46 ± 0.1	0.01 ± 0.03	0.08 ± 0.04	0.17 ± 0.04
$K=F>V=CI>Z$	0.34 ± 0.07	0.34 ± 0.07	0.03 ± 0.05	0.14 ± 0.05	0.14 ± 0.05

Высокий морфометрический индекс водообмена MM характерен для озерных систем возвышенных районов территории Северного Казахстана: горы

Южного Урала, Зауральское плато, Тургайское плато, Кокшетауская возвышенность, север Казахского мелкосопочника. Низкий индекс наблюдается в пределах Тургайской ложбины, Северо-Казахстанской равнины, южной части Ишимской равнины, частично захватывает западные части Барабинской низменности и Кулундинской равнины.

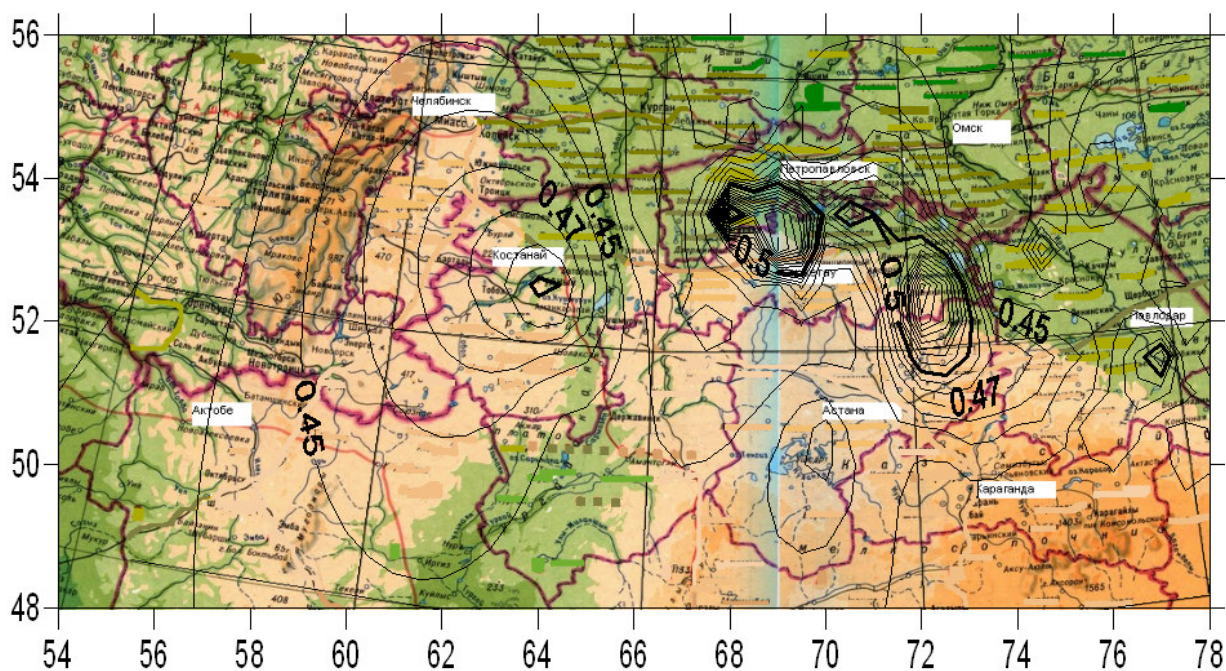


Рисунок 3.2 – Распределение морфометрического индекса внешнего водообмена озер Северного Казахстана

Таким образом, по величине морфометрического индекса внешнего водообмена озер на рассматриваемой территории можно выделить два района. *Первый район* включает возвышенную часть гор Южного Урала. *Второй район* находится чуть южнее и охватывает территорию северной части Казахского мелкосопочника.

Картирование значений MM , рассчитанных при четырех других вариантах расстановки приоритетов, показало, что границы выделенных районов принципиально не меняются.

Это свидетельствует об устойчивости полученных оценок сводного морфометрического индекса водообмена и о правомерном задании априорной

информации. Ведущими морфометрическими параметрами озерных систем целесообразно считать K , F , V , а второстепенными Z и $C1$. Перестановка приоритетов в пределах этих групп принципиально не влияет на конечный результат.

3.3 Климатические индексы внешнего водообмена озер

Климатический индекс внешнего водообмена озер CL определяется с учетом основных факторов увлажненности территории средней многолетней температуры воздуха (T) и средней многолетней суммы атмосферных осадков (P), отнесенных к центру тяжести озерной системы. В Приложении Г представлены исходные данные для расчет климатического индекса внешнего водообмена озер согласно географическим координатам и высоте расположения озер по абсолютной высотной отметке. Для нормирования исходной характеристики T применяется зависимость (3.9), а для характеристики P – (3.8). Такой вид нормирующих функций задан с учетом следующих предпосылок. Внешний водообмен озер в первую очередь определяется зональной величиной увлажненности бассейна. При увеличении количества выпадающих на водосбор осадков и уменьшении температуры воздуха и соответственно испарения увеличивается модуль стока, а, следовательно, и приток воды в озеро, что приводит к увеличению внешнего водообмена озер.

Оценки весовых коэффициентов, использованные для расчета индексов CL , даны в таблице 3.3. При построении индексов CL использованы три набора экспертной информации I .

Сопоставление распределения по территории индексов CL , рассчитанных при разных вариантах задания дополнительной экспертной информации, с распределением многолетнего модуля стока q (л·с/км²) показало, что в условиях современного аридного климата следует отдавать предпочтение

третьему варианту расстановки приоритетов ($T < P$) в группе климатических характеристик.

Таблица 3.3 – Оценки весовых коэффициентов $\tilde{w}_i$ при расчете климатического индекса внешнего водообмена озер

Дополнительная экспертная информация (вариант расстановки приоритетов)	$M_{\tilde{w}_i} \pm S_{\tilde{w}_i}$	
	T	P
$T = P$	0.5 ± 0	0.3 ± 0
$T > P$	0.78 ± 0.14	0.23 ± 0.14
$T < P$	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3

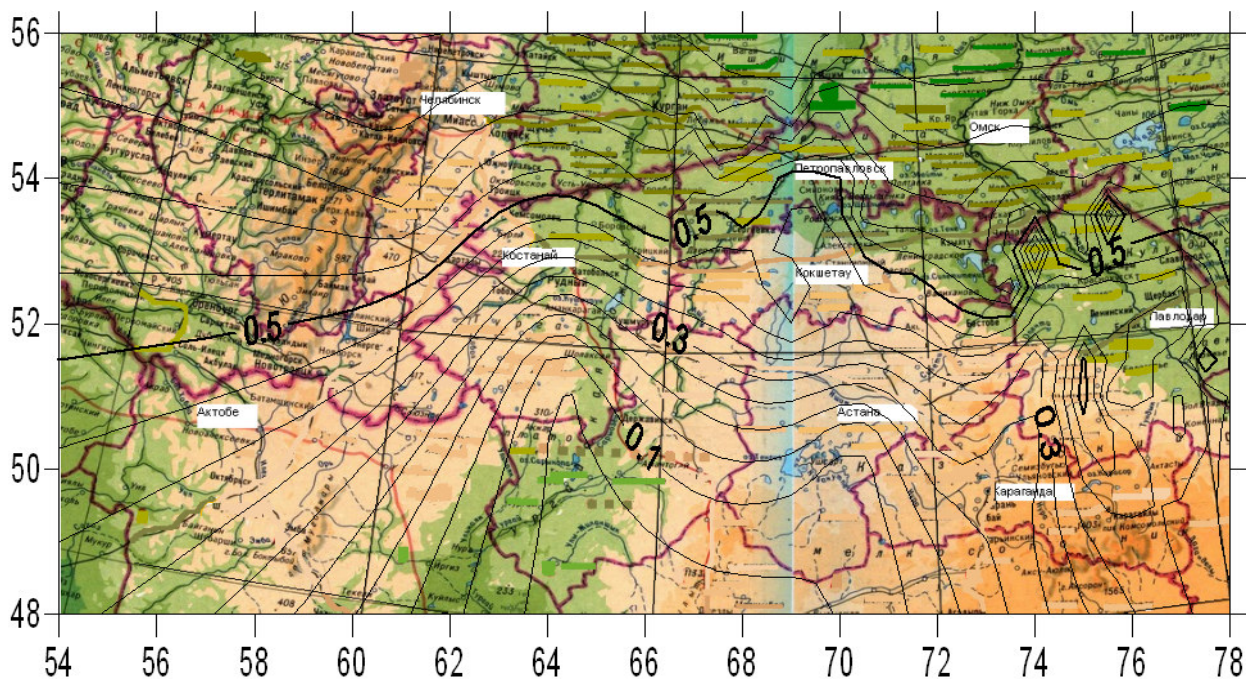


Рисунок 3.3 – Распределение климатического индекса внешнего водообмена озер Северного Казахстана

Значения CL заметно меняются по территории (рисунок 3.3). При этом прослеживается определенная географическая закономерность в их распределении. Высокий климатический индекс озерных систем характерен для северных границ территории (>0.5). Высокие значения индекса CL для

территории Южного Урала и южной части Ишимской равнины и западных частей Барабинской низменности и Кулундинской равнины обусловлены низкими величинами температуры воздуха и достаточным количеством осадков. В пределах этого района средние многолетние значения суммы атмосферных осадков меняются от 300 до 380 мм, а средней многолетней температуры воздуха от 0.3 до 1.3°C.

Низкий индекс (<0.5) характерен для южной части территории, где сосредоточены возвышенности Тургайского плато и Казахского мелкосопочника. Здесь низкие значения индекса CL обусловлены высокими величинами температуры воздуха. В пределах этого района средние многолетние значения температуры воздуха меняются от 1.8 до 2.5°C, а средние многолетние суммы атмосферных осадков – от 300 до 250 мм.

3.4 Многокритериальная классификация озер по условиям формирования их внешнего водообмена

Одной из наиболее сложных проблем в лимнологии отмечают классификацию озер [122]. Представление об озере как едином целом могут дать комплексные классификации, основанные на ряде признаков. В работе Теоретические вопросы классификации озер (1993) коллектива ученых Института озераведения [122] обобщены существующие классификации при выборе признаков, отражающих разные стороны жизни водоема. Интерес к вопросам классификации возрастает с уменьшением объема и ухудшением качества вод, с изменением экологической обстановки и необходимостью обработки и анализа имеющихся данных.

Выделение критерия (признака) классификации озер является главным. В известных многочисленных классификациях [36, 55, 59, 122] большинство одномерны и частны, т.е. представляют собой субъективные квалитетические шкалы, позволяющие оценить меру проявления определенного свойства и качества [83].

Ранее рассчитанные в работе морфометрический и климатический индексы внешнего водообмена являются обобщенными независимыми признаками многокритериальной классификации озер Северного Казахстана по внешнему водообмену, на основе чего можно судить о его интенсивности.

Снова отмечая актуальность исследования неизученных озер по уже изученным объектам, чрезвычайно важно анализировать и обобщать имеющиеся сведения для расчета неизвестных морфометрических и гидрологических характеристик мало изученных водных объектов. Также ввиду того, что многие параметры озерных систем и процессов невозможно описать четкими численными значениями, преимущественно применение способа анализа и обобщения натурных данных с учетом неопределенности информации и связанный с ним подход многокритериальной классификации озерных систем и гидрологического районирования территорий [83].

В работе Мякишевой Н.В. (2009) изложена подход многокритериальной классификации озер зоны избыточного и достаточного увлажнения европейской территории России [83]. В аналогии с этим интересным кажется выполнить то же самое для озер зоны недостаточного увлажнения, т.е. исследуемых в данной работе озерных систем Казахстана.

Согласно оценке весовых коэффициентов при расчете морфометрического индекса внешнего водообмена ведущими морфометрическими параметрами озерных систем целесообразно считать K , F , V , а второстепенными Z и C . Данная информация использовалась для многокритериальной классификации озер Северного Казахстана по условиям формирования внешнего водообмена.

Кластерный анализ озер в пространстве отдельных морфометрических показателей и коэффициентов внешнего водообмена позволил объединить все озера в четыре класса (таблица 3.4). В качестве меры сходства использовалось евклидово расстояние между объектами в 6-тимерном призначном пространстве. Объединение объектов в кластеры выполнялось по средним

расстояниям. Объективные и взаимно увязанные шкалы приводятся только для K , F , V . Выделенные классы озер достаточно обширны, для каждого из них при необходимости может быть сформирована обучающая выборка и с помощью дискриминантного анализа построено решающее правило отнесения неизученных и слабо изученных озер к известному классу.

Таблица 3.4 – Многомерные классы озерных систем

Морфометрические характеристики	Классы			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Умеренный водообмен ($0.1 < K_B < 1.0$)				
K	1 – 20 (30)	> 10	>20	>30
$F_{вдсб}, км^2$	10 – 100	100 – 500	500 – 5000	>5000
$V, км^3$	0.001 – 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 1,0	1.0 – 10.0

В таблице 3.5 приведены некоторые данные по выполненной многокритериальной классификации озер Северного Казахстана. Например, к первому классу принадлежат преимущественно малые и мелкие озера (по классификации П.В. Иванова, 1948) Майбалык, Бугровое, Суатколь, Кайран, Айтеке. Ко второму также малые и мелкие озера Балыктыколь, Аксуат, Жаркаин, в третьему – Большое Торангул, Аксуат, к четвертому – большие и мелкие Карасор и Селетынгиз.

По сравнению с озерами зоны избыточного и достаточного увлажнения [83], где выделяются озера со слабым ($K_B < 0.1$), умеренным ($0.1 < K_B < 1.0$), умеренно-сильным ($1.0 < K_B < 4.0$) и сильным водообменом ($4.0 < K_B$), озера зоны недостаточного классифицируются только по умеренному водообмену, что объясняется явными пространственно-климатическими факторами.

Таблица 3.5 – Классы озер Северного Казахстана с умеренным водообменом

Название озера	F , км ²	K	V , км ³	K_B
Класс I				
Майбалык	15.9	12.23	0.005	0.114
Арык-Балык	25.8	11.73	0.004	0.202
Абалыкуль	75.3	32.74	0.003	0.107
Акжан	10.1	3.99	0.003	0.03
Бугровое	29.5	16.67	0.002	0.123
Гусиное	36.9	16.18	0.003	0.141
Кайран	9.7	6.74	0.002	0.078
Капсыткуль	7.1	5.22	0.0014	0.066
Козявочное	4.8	4.29	0.0017	0.024
Косагач	7	6.86	0.0015	0.031
Куюнгуль	9	4.64	0.0019	0.026
Малкар	9.4	4.27	0.0022	0.043
Мухтыкуль	11.6	8.99	0.0015	0.028
Рявкино	88.3	11.77	0.009	0.075
Сандыкуль	21.2	5.89	0.0031	0.037
Стрелецкое	8.5	3.85	0.0033	0.019
Суаткуль	15.2	11.78	0.0019	0.069
Сулы	36	5.88	0.0098	0.057
Тулумбай	12	6.28	0.0027	0.02
Усердное	24	16.9	0.0026	0.071
Харьковское	55.3	16.61	0.0033	0.073
Майбалык-Булаевский	6.6	5.59	0.0023	0.011
Узынкуль-Полтавка	33.3	12.15	0.0035	0.026
Жаркуль-Владимировка	21.5	13.61	0.0023	0.037
Узынкуль-Дмитриевка	15.8	9.19	0.0026	0.096
Итпол	11	11	0.00138	0.032
Кангельды	25.6	14.22	0.0017	0.036
Кугамыскуль	39.4	18.76	0.00156	0.184
Куркулдак	48.2	17.21	0.0027	0.03
Чикур	28.9	20.64	0.00148	0.179
Баян	11.1	8.67	0.003	0.044
Желандыкуль	25.9	13.28	0.0032	0.035
Железное	23	10.55	0.0042	0.052
Султан	31.4	6.68	0.0036	0.126

Горькое-Островки	25.6	10.53	0.0041	0.044
Жалтыр-Жалтырь	26.5	6.73	0.0053	0.03
Айдарша	81	28.93	0.0055	0.039
Айтеке	19.1	9.1	0.0043	0.011
Байгуту	30.4	23.38	0.00205	0.041
Ерткамаган	48.7	13.91	0.0067	0.019
Кожа	29.6	29.6	0.0016	0.051
Майнак	28.6	11.44	0.0054	0.015
Оманокуль	78	31.2	0.00652	0.124
Ортокуль	29.8	6.93	0.0082	0.01
Пришиб	22.7	22.7	0.00145	0.037
Теренкуль	19	15.83	0.0018	0.08
Улькенсон	37.6	11.06	0.0067	0.013
Озеро б/н 2	130	20	0.009	0.183
Бозайгыр	24.7	20.58	0.004	0.14
Джекекель	13.8	12	0.0026	0.044
Ескине	26.8	18.61	0.002	0.069
Палочное	16.1	10.32	0.0034	0.046
Плоское	20.6	7.38	0.006	0.033
Полковникова	16.2	6.96	0.0077	0.021
Пронькино	20.5	18.3	0.0025	0.051
Класс II				
Балыктыколь	267	83.44	0.035	0.224
Аксуат	268	11.17	0.037	0.118
Шилегино	361	9.03	0.0368	0.069
Жалтырькуль	242	22	0.0136	0.156
Жангельды	292	58.4	0.005	0.147
Жаркаин	379	47.38	0.01	0.056
Кумдыколь	299	28.48	0.04	0.073
Альпаш	316	13.28	0.05	0.032
Белое	66.6	15.89	0.01	0.056
Екатериновское	81.7	10.01	0.0171	0.022
М. Тарангул	945	33.87	0.0133	0.031
Бурлю	177	10.99	0.0635	0.006
Голубовка	133	32.44	0.0111	0.028
Сабундыколь	88.5	11.96	0.016	0.015
Казы	101	17.12	0.0111	0.024

Санкуркуль	95.1	19.02	0.0114	0.025
Жамантуз	350	11.33	0.0402	0.026
Класс <i>III</i>				
Б.Тарангул	2000	20	0.097	0.066
Аксуат	4870	39.59	0.123	0.045
Класс <i>IV</i>				
Карасор	8740	56.39	1.26	0.071
Селетытенгиз	23400	30.12	1.54	0.009

4 МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОЗЕРНЫХ ВОД

4.1 Характеристика озер Щучинско-Боровской курортной зоны

Озера Щучинско-Боровской курортной зоны относятся к четвертой озерной области Северного Казахстана [94], а именно к озерам Кокшетауского горного массива.

Геологическое строение и рельеф Центрально-Казахского мелкосопочника в сочетании с климатическими условиями благоприятны для появления в этом районе большого количества озер. Именно мелкосопочный и холмистый рельеф с большим количеством котловин служит аккумулятором атмосферных осадков. Наиболее крупные пресные и слабосоленые озера расположены у подножья низкогорных массивов и островных гор (Щучье, Большое Чебачье, Малое Чебачье, Боровое, Катарколь). Мелкие водоемы: Карасу, Текеколь, Искра, Сулуколь, Майбалык, Акколь и другие.

Щучинско-Боровская курортная зона расположена на территории государственного национального природного парка «Бурабай», функционирующего с 2000 года и входящего в государственную систему особо охраняемых природных территорий. В основные задачи национального парка входит сохранение целостности экосистем, эталонных и уникальных природных комплексов и объектов, восстановление нарушенных природных и историко-культурных комплексов и объектов. Водные объекты ЩБКЗ в последние десятилетия подвергаются активному хозяйственному и рекреационному использованию. Исследование их состояния является актуальной проблемой [58, 66. 88. 124, 142 и др.]

Озеро Боровое расположено в пределах Кокшетауского нагорья, у восточного подножья г. Кокше. Площадь водного зеркала составляет около 11 км². Средняя глубина озера 3,4 м, наибольшая глубина наблюдается в северной части и достигает 7 м. озеро является пресным и сточным. В него впадают: с юго-восточного берега Сары-Булак, с запада – ручей Иманаевский и два

безымянных ручья. Из озера, в его северо-восточной части вытекает река Куркуреук длиной 1,5 км, сбрасывающая воду в соседнее озеро Большое Чебачье. Изменения уровня озера в среднем относительно незначительное, так как при увеличении притока соответственно увеличивается и сток из него. Минерализация в течение всего года составляет 0,1-0,15 г/л.

Озеро Большое Чебачье является пресным и бессточным. Постепенно усыхает. Озеро - самое большое из озер Боровской группы. Площадь водной поверхности около 23 км². Средняя глубина озера 11 м, максимальная - 33 м. Северный и восточный берега озера пологие; южный и западный крутые, образованные склонам горного массива. На озере имеется ряд небольших островов, образованных подводными возвышенностями и грядами. Дно сложено желтовато-коричневыми глинами, покрытыми илом мощностью до 2 м. С южного берега в озеро впадает р. Куркуреук, вытекающая из Борового озера.

Озеро Щучье расположено у г. Щучинска. Является бессточным и пресным. В последние годы наблюдается медленное падение уровня воды. Площадь водного зеркала составляет 19,6 км². Озеро глубокое, максимальная глубина наблюдается в центральной части и составляет 31 м, средняя глубина 14 м. Водная поверхность озера открытая, без растительности. Дно илистое, у северо-восточного и юго-восточного берегов песчаное, у юго-западного – песчано-галечное. Берега озера преимущественно, пологие, только юго-западный берег крутой, примыкает непосредственно к подножью Щучинских сопок. Минерализация воды озера в течение всего года остается постоянной и составляет около 0,2 г/л, а жесткость 2,4-2,5 мг-экв/л. Озеро используется для питьевого и хозяйственного водоснабжения г. Щучинска.

В работе были использованы данные Центра гидрометеорологического мониторинга г. Астаны, осуществляющего деятельность по гидрометеорологическому наблюдению и прогнозированию на территории г. Астаны, Акмолинской области и Щучинско-Боровской курортной зоны.

Для оценки качества воды были использованы данные экологического мониторинга (гидрофизические и гидрохимические показатели, содержание

загрязняющих веществ) озер Боровое, Большое Чебачье и Щучье с месячной дискретностью за 2002-2010 гг.

Многокритериальная оценка качества вод проводилась в несколько этапов. Первоначально были проанализированы ряды данных экологического мониторинга. Были выбраны 15 параметров состояния водных экосистем (гидрофизические данные: содержание взвешенных веществ, прозрачность и цветность воды; гидрохимические параметры: кислотность водной среды (pH), содержание нитратного (NO_3) и аммонийного азота (NH_4), содержание фосфатов (PO_4), содержание кислорода (O_2 , %) и биологическое потребление кислорода (БПК₅); содержание токсических веществ: нефтепродукты, СПАВ, концентрация меди, ртути, цинка, фтора). Выбор группы токсических веществ обусловился превышением данных веществ относительно ПДК в водоемах на протяжении анализируемого периода времени.

4.2 Многокритериальная оценка качества вод озер ЩБКЗ

Балльно-индексная методика оценки устойчивости (метод сводных рандомизированных показателей) явилась основой для разработки подходов к многокритериальной оценке качества вод озер ЩБКЗ. Правила построения интегральных (сводных) показателей качества опубликованы в серии работ по многокритериальной оценке состояния и устойчивости природных и антропогенно трансформированных систем [39]. Задача во всех случаях решалась на основе метода сводных показателей (МСП).

Для многокритериальной оценки качества природных вод выбраны 15 исходных характеристик, перечень которых приведен в Таблице 4.2. Все характеристики разбиты на три однородные группы: гидрофизические (1-3), гидрохимические (4-9), содержание токсических веществ: неорганических (10-13), органических (14-15). Оценивалась принадлежность вод к одному из пяти классов качества, алфавит которых представлен также в Таблице 4.2.

Алфавит классов был взят из комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [60, 61] – таблица 4.1. Выбор обусловился тем, что данная классификация содержит более подробный перечень параметров качества воды. Имеющиеся в классификации интервалы классов (градации) практически идеально подходят для свертки информации.

Переход из пространства наблюдений x_i в пространство признаков $q_i = q_i(x_i)$ осуществляется процедурой нормализации. Вся необходимая информация для расчета отдельных показателей q_i содержится в таблице 4.3. При нормализации исходных характеристик x_i считается, что значение $q_i = 0$ соответствует близости природных вод к чистому состоянию, а $q_i = 1$ – к грязному. Таким образом, по мере загрязнения водоема показатели q_i будут расти от 0 до 1. Для таких исходных характеристик, как прозрачность воды и процентное содержание растворенного кислорода, задана монотонно убывающая зависимость отдельных показателей q_i от соответствующих исходных характеристик x_i . Такая зависимость определяется формулой (3.6) и означает, что при росте исходной характеристики, например прозрачности воды от минимальных значений к максимальным, величина отдельного показателя уменьшается от 1 до 0, т.е. качество воды изменяется от грязного к чистому. Иначе говоря, уменьшение прозрачности воды свидетельствует о загрязнении водоема.

Для остальных исходных характеристик качества вод задана монотонно возрастающая зависимость от них отдельных показателей. Она определяется формулой (3.7) и имеет смысл, обратный описанному выше.

Снижение мерности призначного пространства и переход к системе обобщенных независимых признаков осуществляется при расчете сводных показателей $Q(q;I)$. На первом уровне исследований расчет $Q(q;I)$ производился для каждой из трех групп исходных характеристик с учетом дополнительной информации о приоритетном влиянии отдельных показателей на сводный (Таблица 4.4). Значения математического ожидания

Таблица 4.1 – Схема комплексной экологической классификации континентальных водоемов (Жукинский и др., 1978)

Показатели			Градации качества		Тип
Группа	Подгруппа		Класс	Разряд	
Солевой состав	Степень минерализации (соленость)		Пресные	гипогалинные	А
				олигогалинные	
			Солоноватые	мезогалинные	
				полигалинные	
			Соленые	эугалинные	
	ультрагалинные				
	Ионный состав по О.А. Алекину [1946]: Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺		Гидрокарбонатные		В
Сульфатные					
Хлоридные					
Эколого-санитарная (трофо- сапробиологическая)	Гидрофизические		Предельно чистая	Предельно чистая	С
	Биотрофные и гидрохимические				
	Гидробиологические		Чистая	Очень чистая	
	Бактериологические			Вполне чистая	
	Биоиндикация сапробности				
	Трофность		Удовлетворительной чистоты	Достаточно чистая	
Эколого- токсикологическая	Содержание токсичных веществ	Неорганические		Слабо загрязненная	
		органические	Загрязненная	Умеренно загрязненная	
	Токсичность по биотестам			Сильно загрязненная	
Радиоэкологическая	Вездесущие радионуклиды		Грязная	Весьма грязная	
	Коррозионные радионуклиды			Предельно грязная	
	Осколки деления				

Таблица 4.2 – Алфавит классов для оценки качества вод озер Щучинско-Боровской курортной зоны

Параметры	Классы качества								
	1 - предельно чистая	2 - чистая		3 - удовлетворительной чистоты		4 - загрязненная		5 - грязная	
	Разряды качества вод								
	предельно чистая	очень чистая	вполне чистая	достаточно чистая	слабо загрязненная	умеренно загрязненная	сильно загрязненная	весьма грязная	предельно грязная
Гидрофизические									
1. Взвешенные вещества, мг/л	< 5	5 - 9	10 - 14	15 - 20	21 - 30	31 - 50	51 - 100	101 - 300	> 300
2. Прозрачность, м	> 3	0.75 - 3.0	0.55 - 0.7	0.45 - 0.5	0.35 - 0.4	0.25 - 0.3	0.15 - 0.2	0.05 - 0.1	< 0.05
3. Цветность по Pt-Co	< 10	10 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 80	81 - 100	> 100
Гидрохимические									
4. pH	7	6.5 - 6.9	6.1 -6.4	5.9 - 6.0	5.7 - 5.8	5.5 - 5.6	5.3 - 5.4	4.0 - 5.2	< 4.0
		7.1 - 7.5	7.6 - 7.9	8.0 - 8.1	8.2 - 8.3	8.4 - 8.5	8.6 - 8.7	8.8 - 9.5	> 9.5
5. [NH ₄] ⁺ , мгN/л	< 0.05	0.05 - 0.1	0.11 - 0.2	0.21 - 0.3	0.31 - 0.5	0.51 - 1.0	1.01 - 2.5	2.51 5.0	> 5.0
6. [NO ₃] ⁺ , мгN/л	< 0.05	0.05 - 0.2	0.21 - 0.3	0.31 - 0.5	0.51 - 0.7	0.71 - 1.0	1.01 - 2.5	2.51 -4.0	> 4.0
7. [PO ₄] ⁺ , мгP/л	< 0,005	0.005 - 0.015	0.016 - 0.03	0.031 - 0.05	0.051 - 0.1	0.101 - 0.2	0.201 - 0.3	0.301 - 0.6	> 0.6
8. O ₂ , % насыщения	100	96 - 99	91 - 95	81 - 90	71 - 80	61 - 70	41 - 60	20 - 40	< 20
		101 - 105	106 - 110	111 - 120	121 - 130	131 - 140	141 - 150	151 - 160	> 160
9. БПК ₅ , мгО/л	< 0,4	0.4 - 0.7	0.8 - 1.2	1.3 - 1.6	1.7 - 2.1	2.2 - 4.0	4.1 - 7.0	7.1 - 10.0	> 10
Содержание токсических веществ									
Неорганические									
10. Медь, мкг/л				< 1	1 - 5	6 - 10	11- 25	26 - 50	> 50
11. Цинк, мкг/л				< 5	5 - 10	11 - 30	31 - 75	76- 150	> 150
12. Фтор (фториды), мкг/л				< 100	100 - 200	201 - 500	501 - 1000	1001 - 3000	> 3000
13. Ртуть, мкг/л				< 0.1	0.1 - 0.5	0.6 - 1.0	1.1 - 2.5	2.6 - 5.0	> 5.0
Органические									
14. Нефтепродукты, мг/л				0	< 5	5 - 50	51 - 100	101 - 500	> 500
15. СПАВ, мг/л				0	< 50	50 - 100	101 - 250	251 - 500	> 500

Таблица 4.3 – Предельные значения параметров и вид нормализующей функции для оценки качества вод

Параметры	Минимальные значения			Максимальные значения			Вид нормализующей функции
	Боровое	Щучье	Б. Чебачье	Боровое	Щучье	Б. Чебачье	
1. Прозрачность воды, м	0.24	0.25	0.25	0.3	0.25	0.25	Линейная невозрастающая
2. Взвешенные вещества, мг/л	3.20	2.0	4	52.0	84.0	56	Линейная неубывающая
3. Цветность по Pt-Co	0	0	0	28.0	18	22	Линейная неубывающая
4. pH	6.90	7.45	7.6	8.7	8.95	9.05	Линейная неубывающая
5. $[\text{NH}_4]^+$, мгN/л	0.02	0	0	0.5	0.32	0.29	Линейная неубывающая
6. $[\text{NO}_3]^+$, мгN/л	0	0	0	0.6	0.95	1.15	Линейная неубывающая
7. $[\text{PO}_4]^+$, мгP/л	0	0	0	0.017	0.02	0.014	Линейная неубывающая
8. O_2 , % насыщения	0.140	21.3	0.00	146.0	137	135	Линейная невозрастающая
9. БПК ₅ , мгО/л	0.60	0.35	53	4.0	2.83	3.45	Линейная неубывающая
10. Медь, мкг/л	0	0	0.51	5.0	7	6	Линейная неубывающая
11. Цинк, мкг/л	0	0	0	12.0	10	8	Линейная неубывающая
12. Фтор (фториды), мкг/л	0.110	0.67	0.38	6.0	7.5	14.1	Линейная неубывающая
13. Ртуть, мкг/л	0	0	0	0.1	0.04	0.03	Линейная неубывающая
14. Нефтепродукты, мг/л	0	0	0	0.2	0.18	0.2	Линейная неубывающая
15. СПАВ, мг/л	0.009	0	0	0.2	0.06	0.08	Линейная неубывающая

Таблица 4.4 – Математическое ожидание сводных показателей по классам качества вод

Классы качества вод		г/ф	г/х	УТЗ	Единый показатель (г/ф + г/х)
Предельно чистая	предельно чистая	0-0.01	0-0.006		0-0.008
Чистая	очень чистая	0.01-0.3	0.006-0.033		0.008-0.16
	вполне чистая	0.31-0.36	0.033-0.04		0.17-0.22
Удовлетворительной чистоты	достаточно чистая	0.37-0.42	0.04-0.07	0-0.001	0.23-0.28
	слабо загрязненная	0.43-0.48	0.08-0.14	0.001-0.057	0.29-0.35
Загрязненная	умеренно загрязненная	0.49-0.55	0.15-0.22	0.057-0.066	0.36-0.44
	сильно загрязненная	0.56-0.69	0.23-0.33	0.066-0.16	0.45-0.65
Грязная	весьма грязная	0.7-0.99	0.34-0.61	0.17-0.41	0.66-0.99
	предельно грязная	0.99-1	0.62-1	0.42-1	0.99-1
Дополнительная информация (вариант приоритетности)			$O_2 > NH_4 > NO_3 > PO_4 > pH$; $O_2 \leq 0,4$	$Zn = Cu = Hg = F$; СПАВ=НФП	г/ф=г/х

рандомизированных весовых коэффициентов $p(I)$, полученные в результате арифметизации нечисловой дополнительной информации, использованной при расчете $Q(q;I)$, также приведены в таблице 4.4.

В результате достаточно громоздкий алфавит классов был сведен небольшому набору статистически обоснованных характеристик. На втором уровне оценивался единый сводный показатель качества вод. При этом применялись разные наборы дополнительной информации о приоритетном влиянии гидрофизических, гидрохимических характеристик и информации о токсическом загрязнении воды. В таблице 4.4 в качестве примера указаны значения математического ожидания единого показателя (для гидрофизических и гидрохимических характеристик), вычисленные при одном из наборов дополнительной информации. Исходными данными для его расчета послужили результаты первого уровня.

Свертка информации для трех озер осуществлялась в двух направлениях: первое – выборка значений 15 характеристик для каждого месяца за 9 лет (с 2002 по 2010 гг.) для анализа внутригодовой динамики качества воды; выборка 15 характеристик параметров качества для каждого месяца каждого года, т.е. например, на первом уровне происходила свертка данных одного озера по гидрофизическим (гидрохимическим, уровню токсического загрязнения) параметрам одного года (12 месяцев), затем на втором уровне свертки получали единый показатель для гидрофизических и гидрохимических данных. Уровень токсического загрязнения анализировался отдельно, так как он по комплексной классификации имел различные степени градации классов качества воды. Таким образом, были получены данные качества вод, иллюстрируемые на рисунках 4.1 – 4.4.

Многокритериальная оценка качества вод озер ЩБКЗ в рамках существующих в настоящее время представлений о классах качества и о приоритетном влиянии отдельных показателей на общую характеристику, а также в условиях дефицита исходной информации показала следующее.

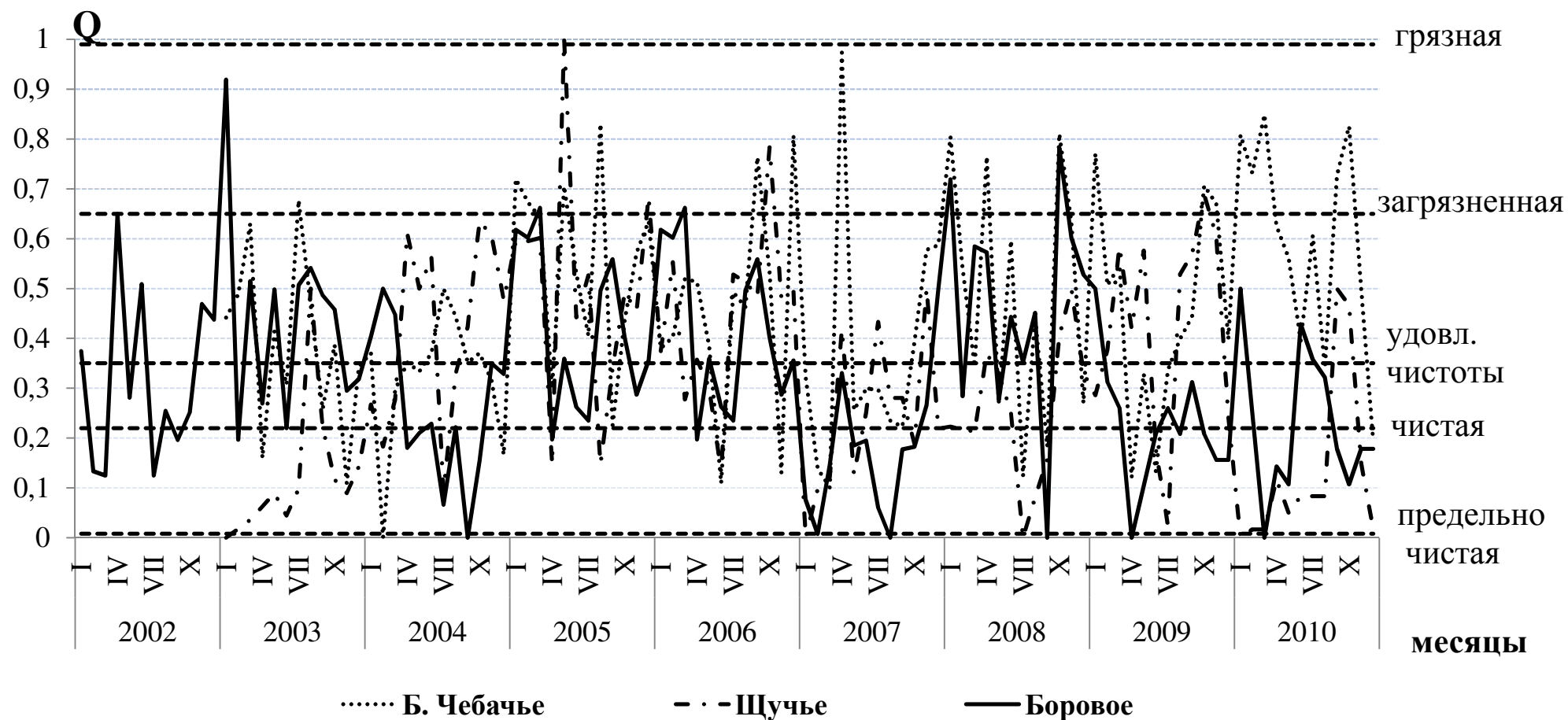


Рисунок 4.1 – Качество воды озер за многолетний период (2002-2010 гг.) по сведенным гидрохимическим и гидрофизическим данным

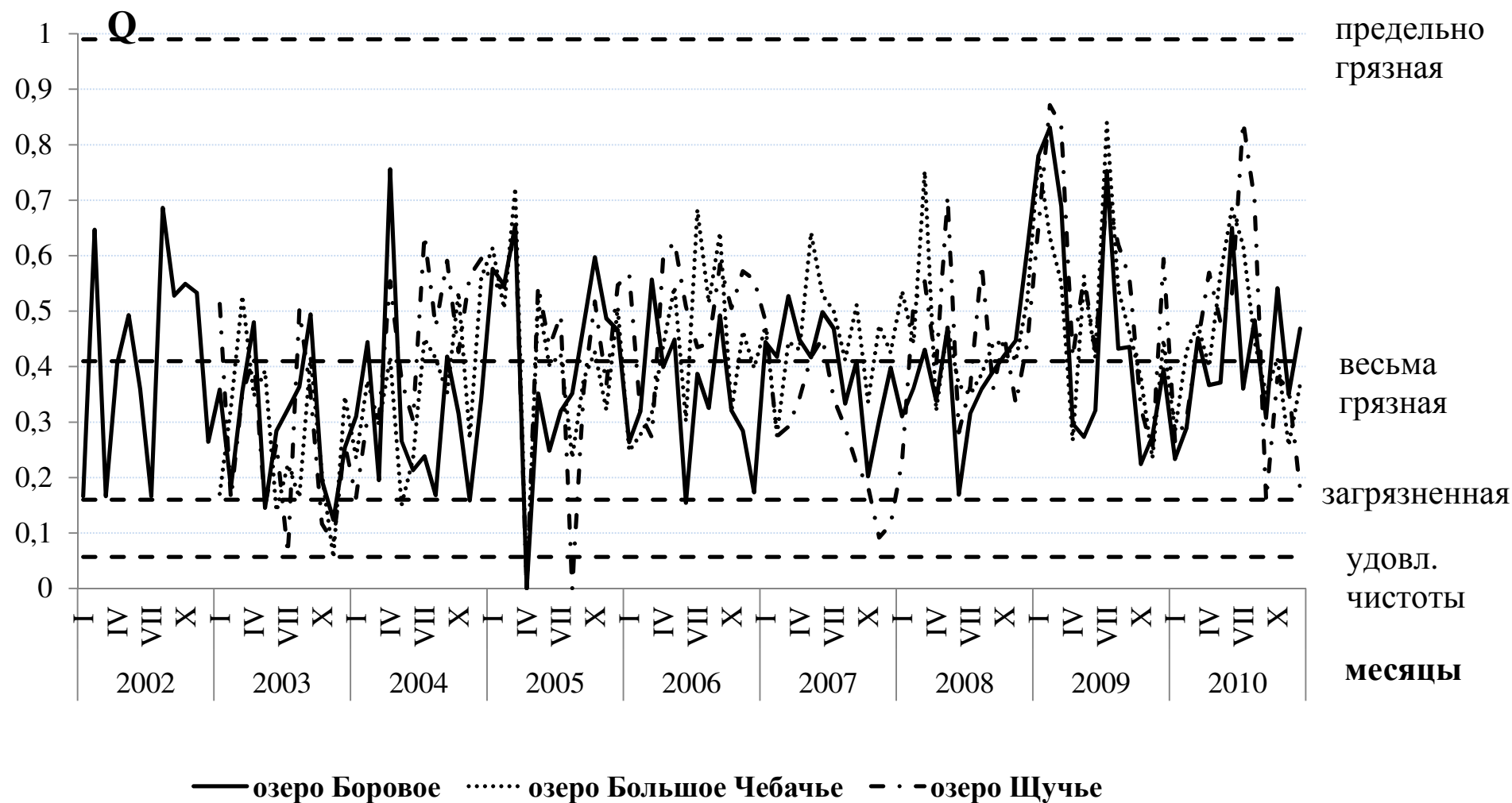


Рисунок 4.2 - Качество воды озер за многолетний период (2002-2010 гг.) по уровню токсического загрязнения

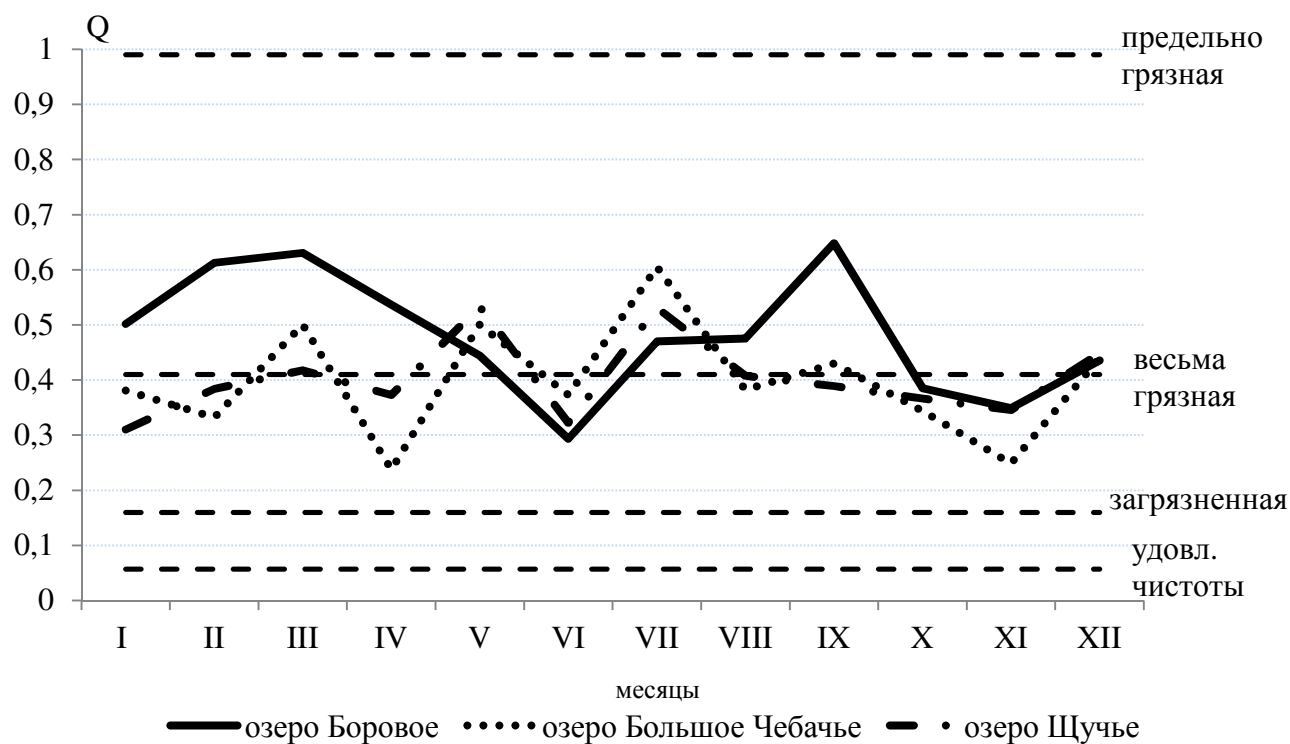
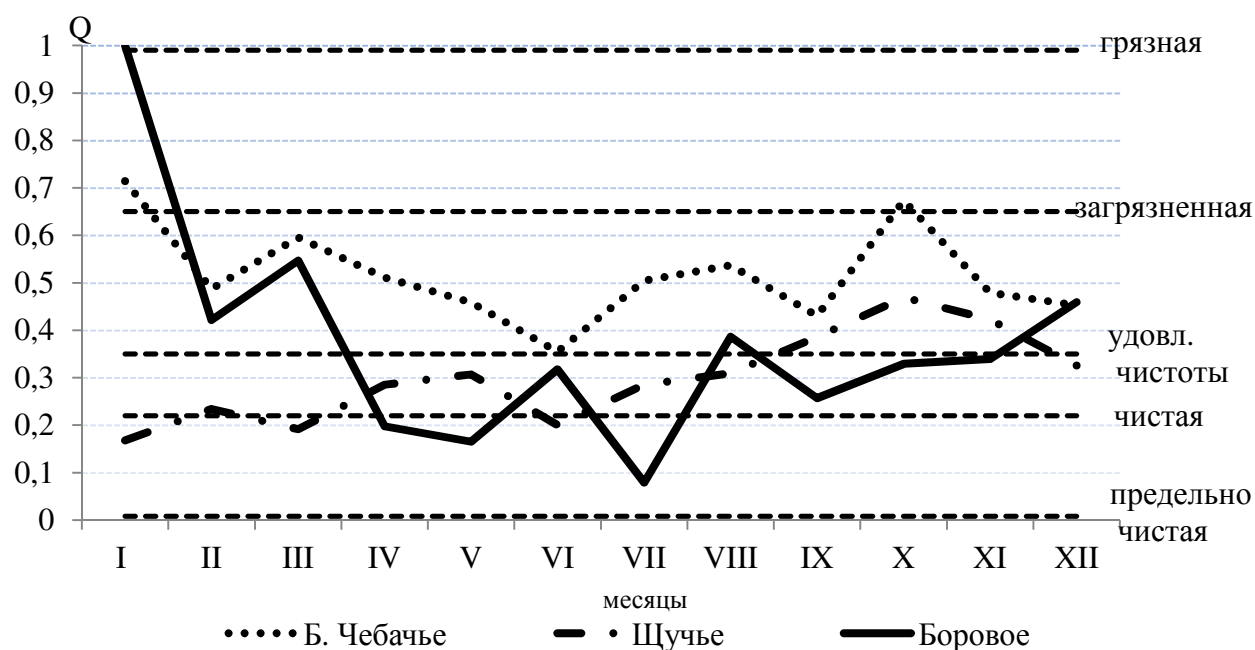
Графики выявили периоды низкого и высокого качества воды озер. Согласно гидрохимическим данным, качество вод озер находится в пределах от «удовлетворительно чистой» до «загрязненной» (рисунки 4.1-4.2). Причем, между озерами нет существенных различий – практически одновременно происходит снижение и рост качества воды. Также заметна внутригодовая динамика, которую можно более детально проследить на рисунках 4.3-4.4.

Гидрофизические данные озер демонстрируют лучшую ситуацию, поскольку вода в озерах значительный период времени была «чистой». До 2007 г. динамика качества вод имела более длительные циклы и колебалась существенно от «предельно чистой» до «загрязненной». После 2007 г. циклы уменьшились, внутригодовая динамика стала более отчетливой. Качество воды в озерах Боровом и Щучьем в начале 2010 г. по гидрофизическим данным снижается.

При сведении гидрофизических и гидрохимических характеристик в единый показатель качества было выявлено озеро с преимущественно низким качеством воды (озеро Большое Чебачье) по сравнению с другими (рисунок 4.1). После 2005 г. вода в озерах теряет свое качество, практически в начале каждого года переходит в разряд «загрязненной», что может быть обусловлено накоплением в водах загрязняющих веществ.

График уровня токсического загрязнения водоемов иллюстрирует распространение «весьма грязной» воды (рисунок 4.2). На протяжении всего времени года в озерах качество воды снижается, достигает критических значений в середине года при интенсивной (предполагается) антропогенной нагрузке.

При анализе графиков внутригодовой динамики качества озерных вод за 9 лет в течение каждого месяца был выявлена цикличность. Сведённые гидрофизические и гидрохимические показатели (рисунок 4.3) демонстрируют более низкое качество вод озера Большое Чебачье по сравнению с другими двумя (качество вод в озерах Боровое и Щучье находится в пределах от «чистых» до «удовлетворительно чистых»).



В начале года качество воды имеет низкие значения, что может быть обусловлено естественными процессами: органическое вещество, поступившее в экосистему извне или накопившееся в ней, слабо минерализуется, но из-за нахождения в воде достаточного количества биогенных элементов, может развиваться цветение водорослей.

Весной наблюдается рост качества воды, что может быть обусловлено сезонными изменениями состава вод (распреснение водоемов, обогащение вод кислородом, пополнение запасов биогенными элементами). Также в этот период заметны весенние вспышки фитопланктона, которые представляют собой естественный процесс эвтрофирования водоемов.

В летний период времени наблюдаются антропогенно обусловленное эвтрофирование водоемов, что заметно ухудшает качество вод. К осени эти процессы замедляются (обменные процессы живых организмов, зависящие от температурных условий, ослабевают; содержание органическое взвеси увеличивается, концентрация компонентов растворенной органики стабилизируется, биомасса и продукция живых организмов уменьшаются). Происходит общее оздоровление среды. Эти процессы иллюстрирует внутригодовая динамика качества вод озер по сведенным гидрохимическим и гидрофизическим параметрам (рисунок 4.3).

На рисунке 4.4 представлена динамика качества вод исходя из загрязнения озер токсическими веществами.

Качество вод изменяется от «загрязненной» до «весьма грязной». Вода озера Большое Чебачье является наиболее грязной. В начале года наблюдается самое низкое качество вод, что может быть обусловлено накоплением в воде токсических веществ. С наступлением весны происходит распреснение водоемов, поступление свежих вод, их перемешивание, тогда качество воды улучшается. При интенсивном антропогенном использовании озер в летний период, заметны колебания качества вод – происходит загрязнение воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Значения исследованных размерных (площадь озера A , площадь водосбора озера F , объем озера V , длина береговой линии L , максимальные длина l и ширина b , максимальная h_m и средняя h_a глубины) и безразмерных (удельный водосбор F/A , показатель удлиненности котловины l/b , показатель изрезанности береговой линии S_d , показатель формы котловины $CI=h_a/h_m$) морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана подчиняются степенным распределениям, в которых число озер обратно пропорционально значению характеристики. Характер степенных распределений резко меняется при малых значениях характеристик, что объясняется ограниченными выборками малых. Исключения из степенных распределений составляют близкие к нормальным распределения значений показателя формы озерной котловины и рН.

2. В работе были получены статистические распределения размерных и безразмерных морфометрических и гидрохимических характеристик естественных озер Казахстана, где для территории Казахстана могут быть определены общие количества озер в зависимости от значений этих характеристик.

3. Уточненный на основе выявленных зависимостей коэффициент «озерности» территории Казахстана (1.6%) близок к глобальному среднему значению (1.8%), но превосходит соответствующий для таких стран как Китай (0.8%), Монголия (1.0%), Польша (1.0%).

4. Рассчитанные «суммарная» площадь ($A_s=4.38 \cdot 10^4$ км² - сумма площадей рассмотренных 3380 озер) и «суммарный» объем ($V_s=181.9$ км³ - рассчитанный для 475 батиметрически измеренных озер без Каспийского и Аральского морей) естественных озер Казахстана превышают аналогичные для таких стран, как, например, Польша, Беларусь и Монголия. «Удельная» площадь почти в 6 раз превосходит глобальное среднее значение, а также соответствующие оценки для таких стран как Китай, Польша. При этом

«удельный» объем значительно превосходит аналогичные оценки для Польши и Беларуси, но значительно меньше оценки для России и глобального значения.

5. Впервые в практике гидрологических расчетов для озер Казахстана получены зависимости объема озера от его площади, площади озера от площади водосбора для озер различного происхождения и эволюции, характеризующиеся показателем формы котловины и отметками абсолютных высот. Полученные зависимости в большинстве случаев описываются полиномиальной кривой и могут быть использованы для экспертных оценок.

6. В качестве гидрологической характеристики озер Казахстана выбран внешний водообмен, от интенсивности которого зависит гидрологический, гидрофизический, гидробиологический режимы водоемов. Озера зоны недостаточного увлажнения достаточно хорошо классифицируются по условиям формирования их внешнего водообмена. Озера Северного Казахстана имеют преимущественно *умеренный водообмен* ($0.1 < K_v < 1.0$): здесь представлено 4 класса озер в зависимости от диапазона изменения исходных морфометрических характеристик. Также на территории Северного Казахстана выявлены районы влияния морфометрических и климатических факторов формирования внешнего водообмена озер, характеризующие потенциал территории по отношению характера интенсивности внешнего водообмена, который связан с другими гидрологическими и гидроэкологическими параметрами состояния озерной системы. Рассчитанные в работе морфометрический *ММ* и климатический *СL* являются обобщенными независимыми признаками многокритериальной классификации озер Северного Казахстана по внешнему водообмену. Ведущие морфометрические характеристики индекса *ММ* – коэффициент удельного водосбора озера, площадь водосбора озера, объем озера. При расчете индекса *СL* предпочтение отдано приоритету осадков *P* над температурой *T*.

7. Для озер Боровое, Большое Чебачье, Щучье Щучинско-Боровской курортной зоны выполнена многокритериальная оценка качества вод озер с помощью построения сводных показателей. В работе были получены сводные

индексы качества вод. При задании равных приоритетов между характеристиками качество воды озера Б. Чебачье преимущественно является «удовлетворительно чистым», качество вод озер Боровое и Щучье преимущественно «чистое». Однако по уровню токсического загрязнения воды озер классифицируются как «весьма грязные». Методика данного исследования может быть применена для более углубленного изучения состояния водоемов Казахстана в целом.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЕОК	Естественные озера Казахстана
БИО	Батиметрически измеренные озера
ЩБКЗ	Щучинско-Боровская курортная зона
ПКСП	методы теории периодически – коррелированных случайных процессов
МСП	Метод сводных показателей
МРСР	Метод рандомизированных сводных показателей
АСПИД	Методология: Анализ и Синтез Показателей при Информационном Дефиците
РГП «Казгидромет»	Республиканское Государственное предприятие «Казгидромет»
ЦГМ г. Астаны	Центр гидрометеорологического мониторинга г. Астаны

Условные обозначения

A	Площадь поверхности озера (км^2)
A_s	Сумма площадей озер на территории с площадью T (км^2)
$A_s/P, V_s/P$	«Удельные» площадь ($\text{км}^2/\text{чел}$) и объем ($\text{км}^3/\text{чел}$) озер соответственно
b, l	Максимальная ширина и длина озера соответственно (км)
$C_1, \dots, C_4$	Рассчитанные эмпирические коэффициенты
F	Площадь водосбора (км^2)
F/A	Удельный водосбор
h_a, h_m	Средняя и максимальная глубина озера соответственно (м)
$\frac{h_a}{h_m} (C1)$	Показатель формы озерной котловины (≤ 1)

L	Длина береговой линии (км)
l/b	Коэффициент (показатель) удлиненности (вытянутости) озерной котловины (≥ 1)
$N(X \geq X_i)$	Число озер со значением произвольного аргумента $X \geq X_i$; $N=n$ при $X=X_{min}$ и $N=1$ при $X=X_{max}$
P	Население территории (чел.)
$R=A_s/T$	Коэффициент (показатель) озерности территории
s	Общая минерализация (соленость) (‰)
$S_d = \frac{L}{2(\pi A)^{1/2}}$	Коэффициент (показатель) изрезанности (извилистости) береговой линии озера (≥ 1)
T	Площадь территории (км ²)
V	Объем озерной котловины (км ³)
V_s	Суммарный объем озер на территории с площадью T (км ³)
X	Произвольная числовая характеристика озера (площадь, средняя глубина, соленость и т.д.)
Z	Высота озера над уровнем моря (н.у.м.) (м)
K_v	Коэффициент внешнего водообмена
$K_{v_{np}}, K_{v_{np+x}}, K_{v_e}$	Коэффициенты внешнего водообмена рассчитанные по притоку, притоку и осадкам и по испарению
MM	Морфометрический индекс внешнего водообмена
CL	Климатический индекс внешнего водообмена

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросов, В.Н. Зональные типы лимногенеза / В.Н. Абросов. – Л.: Наука, 1982. – 142 с.
2. Абросов, В.Н. Озеро Балхаш / В.Н. Абросов. – Л.: Наука, 1973. – 178 с.
3. Адаменко, В.Н. Климат и озера. (К оценке настоящего, прошлого и будущего) / В.Н. Адаменко. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 264 с.
4. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
5. Атлас Мирового водного баланса. (Приложение к монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли»). – М.-Л., 1974.
6. Ахмедова, Н.С. Особенности распространения и морфологического строения котловин карстовых озер мира: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27/ Ахмедова Наталья Сергеевна. – СПб., 2011. – 22 с.
7. Амиргалиев, Н.А. Арало-Сырдарьинский бассейн: (гидрохимия, проблемы водной токсикологии) / Н.А. Амиргалиев. – Алматы: ТОО «Издательство «Бастау», 2007. – 224 с.
8. Бабкин, А.В. Увлажнение областей внутреннего стока Евразии: (на примере бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.27 / Бабкин Алексей Владимирович. – СПб., 2005. – 41 с.
9. Баранов, И.В. Лимнологические типы озер СССР / И.В. Баранов. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 276 с.
10. Баянов, Н.Г. Типология и свойства озер Нижегородского Заволжья / Н.Г. Баянов, Т.В. Кривдина // Изв. РАН. Серия геогр. – 2011. №5. – С. 85 – 96.
11. Бегалиева, А.Б. Особенности статистической структуры осредненных по площади месячных сумм осадков на севере и юге Казахстана / А.Б. Бегалиева, Е.В. Боголюбова // Гидрометеорология и экология. – 2013. - №1. – С. 52 – 64.

12. Белецкая, Р.В. Морфометрические особенности озерных котловин и их влияние на экологическое состояние лимносистем: (На прим. равнин. озер ледникового происхождения): автореф. дис. ... канд. наук: 25.00.27 / Белецкая Раиса Васильевна. – СПб., 2004. – 24 с.

13. Богданов, В.В. Зонально-региональные свойства лимногенеза и их роль в классификации и районировании озер / В.В. Богданов // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. – Л.: изд. АН СССР. Геогр. об-во СССР, 1984. – С. 71-78.

14. Богословский, Б.Б. Классификация водоемов по внешнему водообмену / Б.Б. Богословский, С.А. Филь // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. – М.: изд. АН СССР. Геогр. об-во СССР, 1984. – С. 54-60.

15. Богословский, Б.Б. О районировании озер СССР по водному балансу / Б.Б. Богословский // Труды III Всесоюз. гидрол. Съезда, 1958, т. 4. – С. 17-25.

16. Богословский Б.Б. Общая гидрология (гидрология суши) / Б.Б. Богословский и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 422 с.

17. Богословский, Б.Б. Схема гидрологической классификации озер и районирование озер СССР / Б.Б. Богословский. – Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1960. - №2. – С. 17-24.

18. Вайновский, П.А. Методы обработки и анализа океанологической информации. Ч. 2. Многомерный анализ / П.А. Вайновский, В.Н. Малинин. – СПб.: Изд. РГГМИ, 1992. – 96 с.

19. Верещагин, Г.Ю. Методы морфологической характеристики озер / Г.Ю. Верещагин // Труды Олонецкой науч. Эксп. – 1980. Ч. II. вып. 1. – 114 с.

20. Водный кодекс Республики Казахстан. – Алматы: ЮРИСТ, 2013. – 84 с.

21. Водные ресурсы Казахстана и их использование. 1998-2003: Библиографический указатель / Сост.: О.П. Бравач. – Алматы, 2005. – 77 с.

22. Гальперин, Р.И. Изменение сроков прохождения волны половодья как следствие потепления климата / Р.И. Гальперин // Вопросы географии и геоэкологии. – 2012. - №3. – С. 21 – 26.

23. Геоморфология Казахстана и Средней Азии / Под ред. Сварической З.А. – Л.: изд. ЛГУ, 1965. – 296 с.

24. Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана: Проект Глобального Экологического Фонда "Комплексное сохранение приоритетных глобально значимых водно-болотных угодий как мест обитания мигрирующих птиц: демонстрация на трех территориях. – Астана: [б. и.], 2007. – 286 с.

25. Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана / ред. М. Ж. Бурлибаев. – Астана: [б. и.], 2007 - . Т. 2: Тениз-Коргажынская система озер. - 286 с.

26. Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана / ред. М. Ж. Бурлибаев. – Астана: [б. и.], 2007 - . Т. 3: Алаколь-Сасыккольская система озер. - 327 с.

27. Горюнова, А.И., Озерный фонд Казахстана: Раздел I Озера Кокчетавской области (1964-1998 гг.) / А.И. Горюнова, Е.К. Данько. – Алматы, 2009. – 70 с.

28. Горюнова, А.И., Озерный фонд Казахстана: Раздел II Озера Костанайской области (1958-2006 гг.) / А.И. Горюнова, Е.К. Данько. – Алматы, 2009. – 88 с.

29. Горюнова, А.И., Озерный фонд Казахстана: Раздел III Озера Павлодарской области (1958-2008 гг.) / А.И. Горюнова, Е.К. Данько. – Алматы, 2010. – 64 с..

30. Горюнова, А.И., Озерный фонд Казахстана: Раздел IV Озера Акмолинской области (1967-1999 гг.) / А.И. Горюнова, Е.К. Данько. – Алматы, 2011. – 108 с.

31. Горюнова, А.И. Жизнь степных озер Казахстана. Естественная гибридизация рыб - форма внутрипопуляционной адаптации/ // Вестник КазНУ. Серия: экологическая.- 2012. - № 1. - С. 21-27.

32. ГОСТ 17.1-1.02-77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. – М.: Госстандарт, 1977. – 21 с.

33. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1977.

34. ГОСТ 17.1.1.01-77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. М: Гос. ком. СССР по стандартам, 1977.

35. Государственная программа управления водными ресурсами Казахстана: [утверждена Указом Президента Республики Казахстан от 04 апреля 2014 года №786]. – Водное хозяйство Казахстана. - №2. – 2014. – С. 3-37.

36. Григорьев, С.В. О некоторых определениях и показателях в озераведении // Тр. Карельск. Фил. АН СССР, Петрозаводск, 1959. – Вып. XVIII. – С. 29-45.

37. Гроховский, Л.М. Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка / Л.М. Гроховский. – М.: Недра, 1972. – 168 с.

38. Данные суточного разрешения по температуре воздуха и количеству осадков. – Северо-Евразийский климатический центр (СЕАКЦ). – Режим доступа: <http://seakc.meteoinfo.ru/actuals/9-catalogue-stations-international-exchange/3-223-daily-series>.

39. Дмитриев, В.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. Ст. 1. Качество природных вод / В.В. Дмитриев, Н.В. Мякишева, Н.В. Хованов // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. – 1996. – вып. 3 (№ 21). – С. 40-52.

40. Дмитриев, В.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. Ст. 2. Трофический статус водных экосистем / В.В. Дмитриев, Н.В. Мякишева, В.Ю. Третьяков и др. // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. – 1997. – вып. 1 (№7). – С. 51-67.

41. Дмитриев, В.В. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем / В.В. Дмитриев, Г.Т. Фрумин. – СПб, 2004. – 294 с.

42. Дмитриев, В.В. Экологическое нормирование состояния и

антропогенных воздействий на природные экосистемы / В.В. Дмитриев // Вестн. СПб. ун-та. – 1994. – Сер. 7. Вып. 2(14). – С. 60-70.

43. Дмитриев, П.С. К вопросу о современном состоянии и значении озер Северо-Казахстанской области [Электронный ресурс] / П.С. Дмитриев, И.А. Фомин, М.Б. Бектурганова // Козыбаевские чтения 2013: Казахстан в мировых культурно-цивилизационных процессах, 15.11.2013, Петропавловск, Казахстан. – 2013. – Режим доступа: <http://repository.nkzu.kz/132/>.

44. Догановский, А.М. Водный баланс озер зоны недостаточного увлажнения / А.М. Догановский, Н.В. Мякишева, Т.И. Прокофьева // Проблемы современной гидрологии: сб. науч. тр. Сотр. Гидрологич.фак. – СПб. – 2004. – С. 66-76.

45. Догановский, А.М. Гидрология суши: (Общий курс) / А.М. Догановский. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – 524 с.

46. Догановский, А.М. Исследование возможностей использования метода расстановки приоритетов для классификации озера / А.М. Догановский, Г.М. Инберг // Расчеты и прогнозы гидрологических характеристик: Сборник научных трудов. – Л.: изд. ЛГМИ, 1989, вып. 103, С. 88-94.

47. Догановский, А.М. Пространственные закономерности строения озерных котловин // Мат. Межвузовской конф. «Герценовские чтения 59» РГПУ им. Герцена 27-28 апреля 2006 г. – Изд. РГПУ им. Герцена. – С-Петербург, 2006. – С. 15-23.

48. Догановский, А.М. Распределение по территории озер с разной степенью проточности / А.М. Догановский, Д.В. Комаринский // Современные проблемы гидрометеорологии. – СПб.: Астерион, 2006. – С. 184-191.

49. Догановский, А.М. Уровенный режим озер – интегральный показатель динамики их биоценозов: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.27 / Догановский Аркадий Михайлович. – СПб., 1994. – 50 с.

50. Догановский, А.М. Уровенный режим озер – интегральный показатель климатических и экологических изменений / А.М. Догановский // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2007. – вып. 1. – С. 103 – 110.

51. Догановский, А.М. Построение комплексных индексов внешнего водообмена озер в условиях неопределенности и дефицита гидрологической информации / А.М. Догановский, Н.В. Мякишева // Водные ресурсы. – 2002. – т. 29, № 3. – С. 284-291.
52. Догановский, А.М. Зональные особенности внешнего водообмена озер / А.М. Догановский, В.А. Поликарпова // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. Л., 1984. – С. 61-70.
53. Достай, Ж.Д. Управление гидроэкосистемой озера Балкаш / Ж.Д. Достай. – Алматы: Ин-т географии, 2009. – 236 с.
54. Драбкова, В.Г. Озеро и его водосбор – единая природная система / В.Г. Драбкова, И.Н. Сорокин. – Л.: Наука, 1979. – 195 с.
55. Егоров, А.Н. Классификация соленых озер // Региональная экология. – Ин-т проблем рег.экономики РАН. – 2005. - №1-2. – С. 119-123.
56. Егоров, А.Н. Соленые озера как объект лимнологического исследования / А.Н. Егоров // Современные проблемы гидрометеорологии. – СПб.: Астерион, 2006. – С. 139-160.
57. Ежегодные бюллетени мониторинга изменения климата Казахстана за 2008-2013 гг. – РГП «Казгидромет». – Режим доступа http://www.kazhydromet.kz/ru/monitor_kz.
58. Жапабаева, А.Б. ГНПП «Бурабай» - обеспечение режима особой охраны / А.Б. Жапабаева, З.Е. Баязитова // Сборник научных трудов Том II международной научно-практической конференции школьников, студентов, магистрантов и преподавателей «Наука и МЫ» (24-25 апреля 2014 года). – Кокшетау: КУАМ, 2014. – С. 95-98.
59. Жирков, И.И. Схема лимногенетической классификации озер северо-востока России / И.И. Жирков // Ученые зап. РГГМУ. – 2014. -№34. – С. 18.
60. Жукинский, В.Н. Проект системы комплексной оценки качества поверхностных пресных вод / В.Н. Жукинский, О.П. Оксиюк, Г.Н. Олейник, С.И. Кошелева // Водн. ресурсы. – 1978. - №3. – С. 83-93.

61. Жукинский, В.Н., Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, О.П. Окснюк, Г.Н. Олейник, С.И. Кошелева // Гидробиол. журн. – 1981. – Т. 17. № 2. – С. 38-50.

62. Иванов, П.В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине // Бюл. ЛГУ, 1948. - №21. – С. 29-36.

63. Исаков, Н.А. Казахстан: Природа. Экономика. Экология / Н.А. Исаков, А.Р. Медеу. – Алматы: Ин-т географии, 2007. – 216 с.

64. Казахстан / Отв. ред. Б.А. Федорович, О.Р. Назаревский. – М.: Наука, 1969. – 481 с.

65. Караушев, А.В. Внешний водоомен и формирование качества воды в озерах и водохранилищах / А.В. Караушев // Труды ГГИ. – 1978. – вып. 249.

66. Климек, Е. Анализ динамики загрязнения окружающей среды в Щучинско-Боровской курортной зоне за 2011-2013 года / Е. Климек, Ж.О. Тлеуова // Сборник научных трудов Том II международной научно-практической конференции школьников, студентов, магистрантов и преподавателей «Наука и МЫ» (24-25 апреля 2014 года). – Кокшетау: КУАМ, 2014. – С. 105-109.

67. Комаринский, Д.В. Изменения в распределении озер разных типов по территории северной и центральной Евразии в условиях меняющегося климата: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Комаринский Дмитрий Валентинович. – СПб., 2005. – 19 с.

68. Ладога: монография / Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. – СПб.: Нестор-История, 2013. – 468 с.

69. Лезин, В.А. Озера Центрального Казахстана: (Комплексная типологическая характеристика режима и ресурсов) / В.А. Лезин. – Алма-Ата: изд. «Наука» Казахской ССР, 1982. – 182 с.

70. Лесик, С. Предотвращение эвтрофикации озера Копа // С. Лесик, Л.А. Макеева // Сборник научных трудов Том II международной научно-практической конференции школьников, студентов, магистрантов и

преподавателей «Наука и МЫ» (24-25 апреля 2014 года). – Кокшетау: КУАМ, 2014. – С. 148-152.

71. Лямина, В.А. Использование методов ГИС и ДЗ для мониторинга площади озер и солончаков на территории юга Западной Сибири / В.А. Лямина, и др. // ГЕО-сибирь-210: сб. материалов VI Междунар. науч. Конгр. (Новосибирск, 19-29 апр. 2010 г.). – Новосибирск, 2010. – Т. 4: Дистанционные методы зондирования Земли и фотометрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, ч. 2. – С. 3 – 7.

72. Малинин, В.Н. Изменчивость вихревой активности атмосферы над Северной Атлантикой / В.Н. Малинин, В.М. Радикевич, С.М. Гордеева. – СПб.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 2003. – 172 с.

73. Малинин, В.Н. Канарский апвеллинг: крупномасштабная изменчивость и прогноз температуры воды / В.Н. Малинин, П.П. Чернышков, С.М. Гордеева. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 154 с.

74. Малинин, В.Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря / В.Н. Малинин. – СПб.: РГГМИ, 1994. – 160 с.

75. Малинин, В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации / В.Н. Малинин. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.

76. Малоземова, О.В. Морфометрическая характеристика озер в различных ландшафтах востока Ленинградской области / О.В. Малоземова // Изв. РГПУ им. А.И. Герцена. – 2012. – Вып. №144. – С. 112.

77. Мальковский, И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана / И.М. Мальковский. Алматы, 2008. – 204 с.

78. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. – Л.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1974. – 638 с.

79. Муравлев, Г.Г. Малые озера Казахстана (Ресурсы и использование в сельскохозяйственном производстве) / Г.Г. Муравлев. – Алма-Ата: изд. «Кайнар», 1973. – 180 с.

80. Муравлев, Г.Г. Озера Казахстана и что их ожидает / Г.Г. Муравлев. – Алма-Ата, 1993. – 187 с. – Деп. в КазгосИНТИ 25.01.93, N 3994.
81. Мякишева, Н.В. Климатическая система Земли: учебное пособие / Н.В. Мякишева. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 95 с.
82. Мякишева, Н.В. Внешний водообмен озер зоны недостаточного увлажнения / Н.В. Мякишева, З.М. Жумангалиева // Уч. зап. РГГМУ. – 2013. - №27. – С. 36 – 44.
83. Мякишева, Н.В. Многокритериальная классификация озер / Н.В. Мякишева. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 160 с.
84. Мякишева, Н.В. Моделирование индекса увлажненности озерных бассейнов в условиях неопределенности и дефицита исходной информации / Н.В. Мякишева, Н.В. Хованов // Уч. зап. РГГМУ. – 2010. - №16. С. 5 – 13.
85. Мякишева, Н.В. Особенности морфометрии и пространственного распределения озер Казахстана / Н.В. Мякишева, З.М. Жумангалиева // Уч. зап. РГГМУ. – 2013. - №29. – С. 17 – 28.
86. Мякишева, Н.В. Особенности увлажненности бассейнов больших европейских озер в условиях современного климата / Н.В. Мякишева // Уч. зап. РГГМУ. – 2009. - №11. – С. 5 – 15.
87. Мякишева, Н.В. Современное состояние антропогенно нагруженных пресноводных озер северного Казахстана / Н.В. Мякишева, З.М. Жумангалиева // Уч. зап. РГГМУ. – 2014. - №34. – С. 63-70.
88. Назарчук, М.К. Опыт оценки природно-рекреационных ресурсов Щучинско-Боровской курортной зоны / М.К. Назарчук // Труды V Международной научно-практической конференции «Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования» МГУ имени М.В. Ломоносова, геогр. фак-т, Москва, 28-29 апреля 2010. - СПб.: Д.А.Р.К., 210. – 704 с.
89. Нарбаев, М.Т. Развитие водного хозяйства как основа устойчивого развития Казахстана / М.Т. Нарбаев // Водное хозяйство Казахстана. – 2012. - №10-11 (48-49). – С. 50 – 55.

90. Науменко, М.А. Цифровые морфометрические модели малых озер / М.А. Науменко, В.В. Гузиватый, Т.В. Сапелко // Уч. зап. РГГМУ. – 2014. - №34. – С. 26-32.

91. Нестерева, М.И. Пространственные особенности строения разнотипных озерных котловин на территории Якутии / М.И. Нестерева // // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2011. – вып. 4. – С. 227-230.

92. Обзор состояния и тенденций изменения климата 2010 год, 2011 год, 2012 год / Северо-Евразийский Климатический Центр. – Режим доступа: <http://seakc.meteoinfo.ru/climatemonitoring>.

93. Озера Казахстана и Киргизии и их история / Академия наук СССР, Ин-т озераведения. – Л.: изд. «Наука» Ленингр. отд-е, 1975. – 279 с.

94. Озера Северного Казахстана: сборник статей / Академия наук Казахской ССР. Отдел географии. Алма-Ата: изд. АН КазССР, 1960. – 239 с.

95. Окснюк О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Окснюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский и др. // Гидробиол. Журн – 1993. – Т. 29. № 4. – С. 62-77.

96. Оценки современных суммарных запасов воды в озерах России, а также их возможных изменений при различных сценариях изменения климата: отчет РФФИ 04-05-64621-а // Рянжин С.В. – М.: РФФИ, 2006. – 30 с

97. Пармузин, Ю.П. Генетическая классификация озерных котловин и схема районирования СССР по их родам / Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 106-114.

98. Прыткова, М.Я. Гидрологический режим и заиление малых разнотипных водоемов Северо-Запада / М.Я. Прыткова. – СПб.: Наука, 2011. – 199 с.

99. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 1. Акмолинская область Казахской ССР / Под ред. В.А. Урываева; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. ордена Труд. Красного Знамени гидрол. ин-т. – Л.: ГМИ, 1958. – 789 с.

100. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 3. Кокчетавская область Казахской ССР / Под ред. В.А. Урываева; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. ордена Труд. Красного Знамени гидрол. ин-т. – Л.: ГМИ, 1959. – 563 с.

101. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 5. Северо-Казахстанская область Казахской ССР / Под ред. В.А. Урываева; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. ордена Труд. Красного Знамени гидрол. ин-т. – Л.: ГМИ, 1960. – 420 с.

102. Романова, С.М. Антропогенная трансформация гидрохимического режима и качества вод бессточных водоемов Казахстана: автореф. дис. ... доктора геогр. наук: 25.00.27 / Романова София Максимовна. – Алматы, 2006. – 44 с.

103. Россолимо, Л.Л. Основы типизации и лимнологического районирования / Л.Л. Россолимо // Накопление веществ в озерах. – М.: Наука, 1964. – С. 5-46.

104. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.

105. Румянцев, В.А. Великие озера мира / В.А. Румянцев, В.Г. Драбкова, А.В. Измайлова. – СПб.: ЛЕМА, 2012. – 372 с.

106. Рянжин, С.В. Геоинформационная система для озера мира - ГИС “Озера Мира” (GIS WORLDLAKE) / С.В. Рянжин, Т.Ю. Ульянова // ДАН России. – Вып. 370 (№4). – 2000. – С. 542-545.

107. Рянжин, С.В. Зональные закономерности элементов термического режима пресноводных озер Северного полушария / С.В. Рянжин // Водные ресурсы, 1991, № 4, с. 15-29.

108. Рянжин, С.В. Много ли на Земле озер? / С.В. Рянжин // Природа. - №4. – 2005. – С. 18-25.

109. Рянжин, С.В. Некоторые результаты гидрофизических и географических исследований озер / С.В. Рянжин // Доклады на сессии ОФАГ

РАН: Исследования в области океанологии, физики атмосферы, географии, экологии, водных проблем и геокриологии. – Москва: ГЕОС, 2001. – С. 267-271.

110. Рянжин, С.В. Новые оценки глобальной площади и объема воды естественных озер мира, / С.В. Рянжин // Доклады РАН. – 401 (2). – 2005. – С. 253-257.

111. Рянжин, С.В. Полярные озера мира: современные данные и состояние исследований / С.В. Рянжин, Д.А. Субетто, Н.В. Кочков и др. // Водные ресурсы. – Вып. 37 (№4). – 2010. – С. 387-397.

112. Рянжин, С.В. Распределения озер и рек мира по размерам рассчитанные из базы данных WORLDLAKE / С.В. Рянжин // Охрана и рациональное использование Ладожского озера и других больших озер. – СПб.: изд. СПбГУ, 2003. – С. 435-441.

113. Сало, Ю.А. Расчет средней глубины озер Карелии при отсутствии батиметрических данных / Ю.А. Сало, М.С. Потахин, А.В. Толстиков // Изв. РГО. – СПб, Наука, 2010. – Том 142, №3. – С. 47-52.

114. Сводное ежегодное сообщение о состоянии изменения климата на территориях государств-участников СНГ за 2013 год / Межгосуд.совет по гидрометеорологии государств-участников СНГ, Росгидромет. – Режим доступа: <http://seakc.meteoinfo.ru/climatemonitoring>.

115. Сенников, М.Н. Особенности перспективного применения гистехнологии в сельском хозяйства / М.Н. Сенников, Г.Е. Омарова, Н.К. Ержанова // Водное хозяйство Казахстана. – 2012. - №8-9. – С. 33 – 38.

116. Смирнов, Л.Е. Объективная классификация озер / Л.Е. Смирнов, Н.П. Смирнова, Е.Г. Копреев // Вестник МГУ. Сер.: геогр. – 1979. – вып. 3, №18. – С. 48-59.

117. Смирнова, О.О. Пространственные закономерности строения озерных котловин Северо-Запада Русской равнины / О.О. Смирнова // Уч.зап. РГГМУ. – 2011. - №17. – С. 23 – 31.

118. Советский Союз: Географическое описание: научное издание

Казахстан / Н.Н. Пальгов и др; Отв. ред. Н.Н. Пальгов, М.Ш. Ярмухамедов. – М.: Мысль, 1970. – 408 с.

119. Сорокин, И. Н. Внешний водообмен озер СССР: монография / И. Н. Сорокин; ред.: Г.В. Назаров; АН СССР, Ин-т озероведения. – Л.: Наука. Ленингр.отд-ние, 1988. - 144 с.

120. Справочник по гидрохимии. Под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 267 с.

121. Тарасов, М.Н. Гидрохимия озера Балхаш / М.Н. Тарасов. – Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. – 227 с.

122. Теоретические вопросы классификации озер / Под ред. Н.П. Смирновой. – СПб., 1993. – 186 с.

123. Турсунов, А.А. Перспективы развития водного хозяйства в Республике Казахстан / А.А. Турсунов // Гидрометеорология и экология. – 2012. - №3 . С. 172 – 177.

124. Турсунов, Э.А. Малые озера Щучинско-Боровской курортной зоны. Экологические проблемы и решения / Э.А. Турсунов, А.М. Бажиева // Гидрометеорология и экология. – 2013. - №2. – С. 172 – 176.

125. Турсунов, Э.А. Современные морфометрические характеристики оз. Балкаш / Э.А. Турсунов, А.С. Мадиебеков, К.М. Кулебаев // Уч. зап. РГГМУ. – 2014. - №34. – С. 43-47.

126. Турсунова, А.А. Современная оценка водных ресурсов бассейна р. Иле с учетом циркуляционных процессов в атмосфере: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27/Турсунова Айсулу Алашевна. – Алматы, 2006. – 16 с.

127. Тьюки, Дж. Анализ результатов наблюдений / Дж. Тьюки. – М.: Мир, 1981. – 693 с.

128. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" / Принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года, одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. - 31 с.

129. Физическая география Казахстана: учебное пособие / Е.Н. Вилесов, А.А. Науменко, Л.К. Веселова, Б.Ж. Аубекеров. – Алматы: Қазақ университеті, 2009. – 362 с.
130. Филонец, П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана: (Озера, водохранилища и ледники) / П.П.Филонец. – Алма-Ата: изд. «Наука» Казахской ССР, 1981. – 232 с.
131. Филонец, П.П. Озера Карагандинской области / П.П. Филонец, Т.Р. Омаров. – Алма-Ата: изд. «НАУКА» Казахской ССР, 1968. – 124 с.
132. Филонец, П.П. Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана: (Справочник) / П.П. Филонец, Т.Р. Омаров. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. – 138 с.
133. Филонец, П.П. Озера Центрального и Южного Казахстана: (Справочник) / П.П. Филонец, Т.Р. Омаров. – Алма-Ата: изд. «Наука» Казахской ССР, 1973. – 198 с.
134. Хатчинсон, Д. Лимнология / Д. Хатчинсон. – М.: Прогресс, 1969. – 592 с.
135. Хованов, Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците / Н.В. Хованов. – СПб.: изд-во СПбГУ, 1996. – 195 с.
136. Цыценко, К.В. Водно-земельные ресурсы бассейнов рек Центральной Азии: состояние и использование / К.В. Цыценко, Т.И. Владимирова // Гидрометеорология и экология. – 2012. - №3. – С. 102 – 115
137. Чередниченко, А.В. Распределение по территории Казахстана циклов в рядах температуры / А.В. Чередниченко и др. // Гидрометеорология и экология. – 2013. - №2. – С. 7 – 17.
138. Чжан Гоюй. Определение водных ресурсов районов с интенсивным развитием хозяйственной деятельности (на примере бассейна озера Наньси КНР). – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – 104 с.
139. Чигринцев, А.Г. Водные ресурсы основных притоков Иртыша и тенденция их изменения / А.Г. Чигринцев и др. // Гидрометеорология и экология. – 2013. - №2. – С. 115 – 123

140. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко // Рос. акад. наук, Ин-т экологии Волж. Бассейна. – М.: Наука, 2005. – Кн. 1. 2005.- 280 с. Кн. 2 – 2005. – 336 с.

141. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко // Рос. Акад. Наук, Ин-т экологии Волж. Бассейна. – Тольятти: изд. Самар. науч. центра РАН, 2003. – 463 с.

142. Щучинско-Боровская курортная зона как объект выставки «ЭКСПО-2017» // Водное хозяйство Казахстана. - №4. – 2014. – С. 10-15.

143. Экологический кодекс Республики Казахстан

144. Якушко, О.Ф. Озероведение. География озер Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск: Высшая школа, 1981. – 224 с.

145. Ryanzhin, S.V.. Size distribution of world lakes and rivers derived from WORLDLAKE database / S.V. Ryanzhin, H. Simola, A.Yu. Terzhevnik, M. Viljanen and I.J. Hopolainen // 4th Intern. Lake Ladoga Symposium, Velikiy Novgorod, Russia, 2-6 Sep. 2002; Joensuu: Joensuun Yliopisto, 2003. – P. 496-502.

146. Ryanzhin, S.V. 2005. Global Statistics for surface area and water storage of natural world lakes / S.V. Ryanzhin // Verein. Intern. Verhein. Limnol., vol. 29 (p. 2), 2005. – P. 640-644.

147. Ryanzhin, S.V. Review of the MGLD-MSSL Global Lakes Database / S.V. Ryanzhin, W. Geller // Intern. J. Lakes & Rivers, 1 (2), 2006. – P. 50-60.

148. Ryanzhin, S.V. Geographical information system of the world lakes (GIS WORLDLAKE) for limnological studies / S.V. Ryanzhin, M. Straškraba // SIL Newsletters. – vol. 27: May, 10. – 1999.

149. Ryanzhin, S.V. Developing WORLDLAKE – Database and GIS for limnological studies / S.V. Ryanzhin, M. Straškraba, W. Geller // Proc. 9th Intern. Confer. Conservation & Management of Lakes, Session 5, Otsu 10-15 Nov. 2001. – Otsu: UNEP/ILEC Publ., 2001. – P. 25-28.

150. Williams, W.D. The largest, highest and lowest lakes of the world: Saline lakes / W.D. Williams // Verh. Intern. Verein. Limnol. – 1996. – V. 26.No1. – P. 61-79.

151. Zhumangalieva Z. Water resources of Kazakhstan: the lakes' fund / Z. Zhumangalieva // Proc. Vol. 2. 1st Eurasian Multidisciplinary Forum, EMF 2013, 24-26 October 2013. – Tbilisi, European Scientific institute ESI, 2013. – P. 35-38.

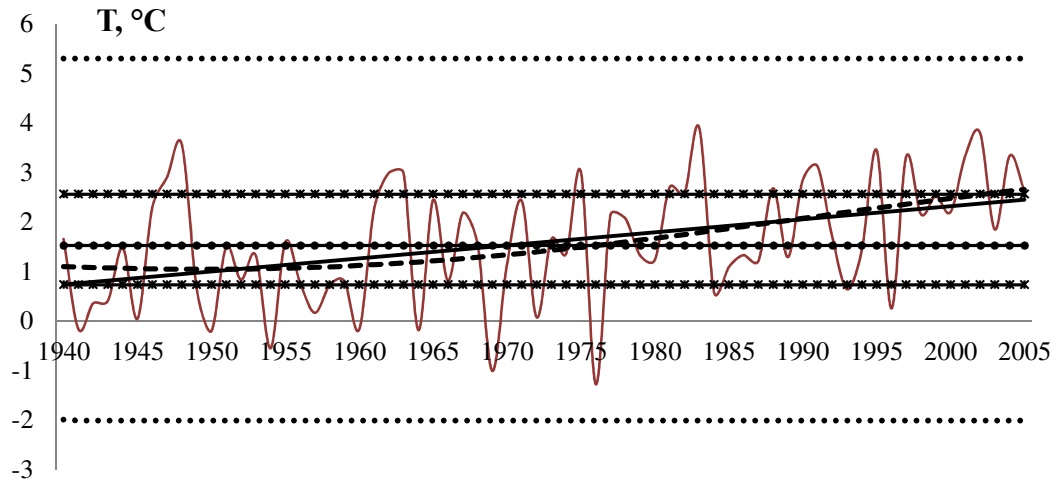
152. Zhumangalieva Z. State of the natural lakes of Kazakhstan / Z. Zhumangalieva // Proc. IWA 6th Eastern European Young Water professionals conference "EAST Meets WEST" Istanbul, 28-30 of May, 1218 p. – P. 369-374.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

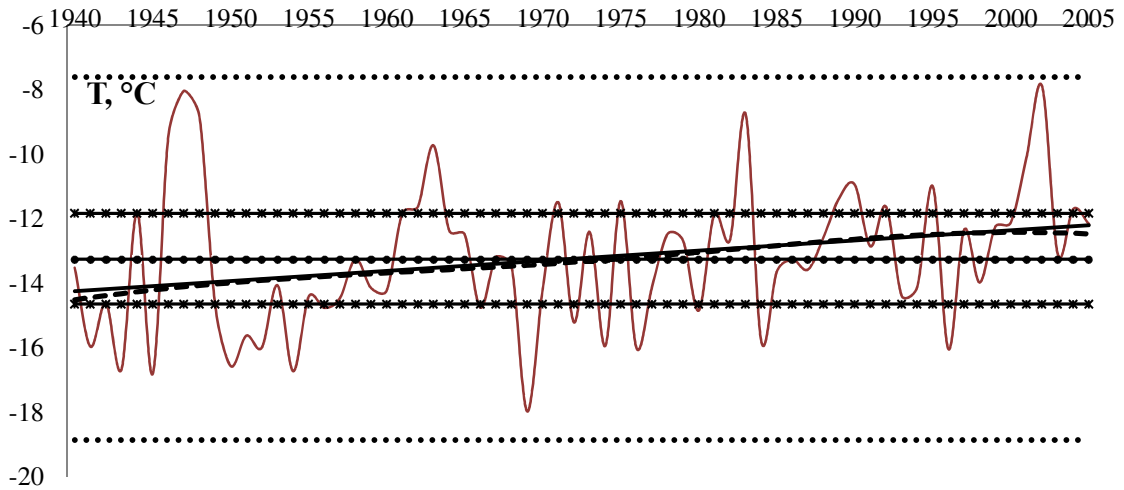
Многолетний ход показателей климата и увлажненности для метеостанций

Атбасар, Зайсан, Караганды, Балхаш, Уральск, Костанай

а



б



в

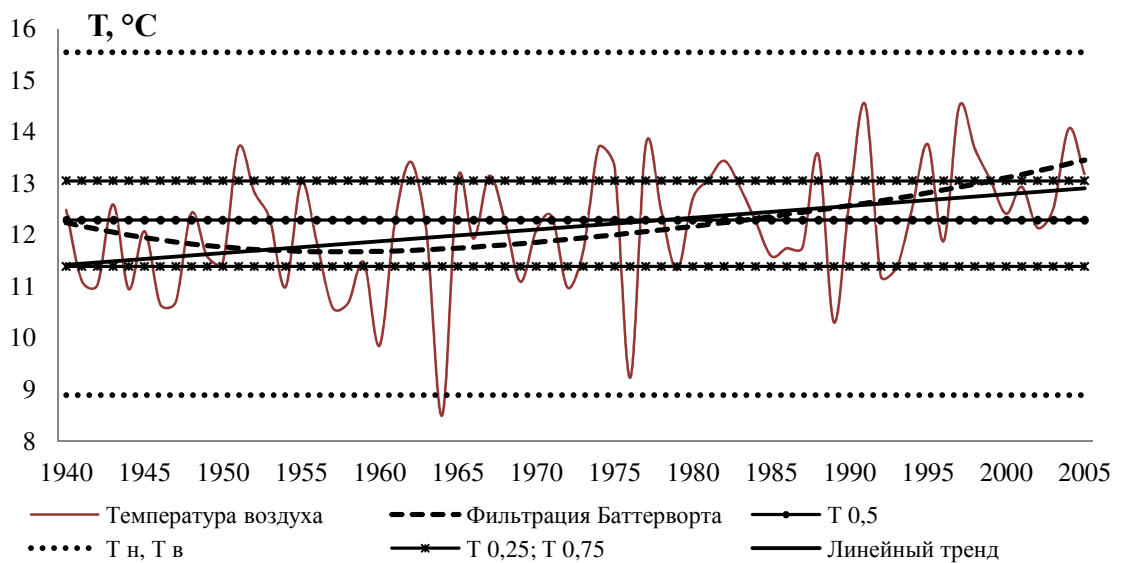
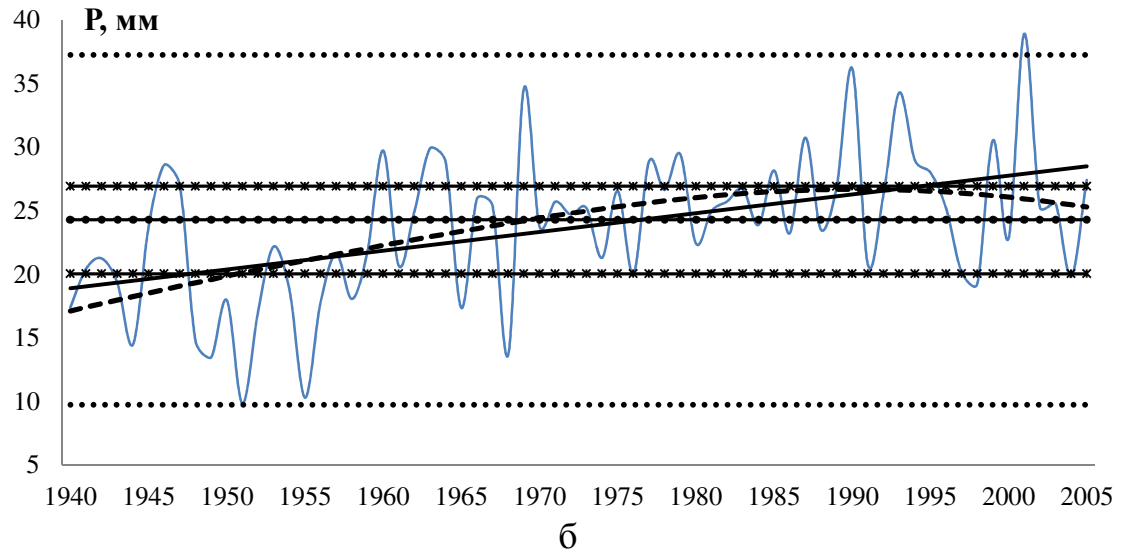


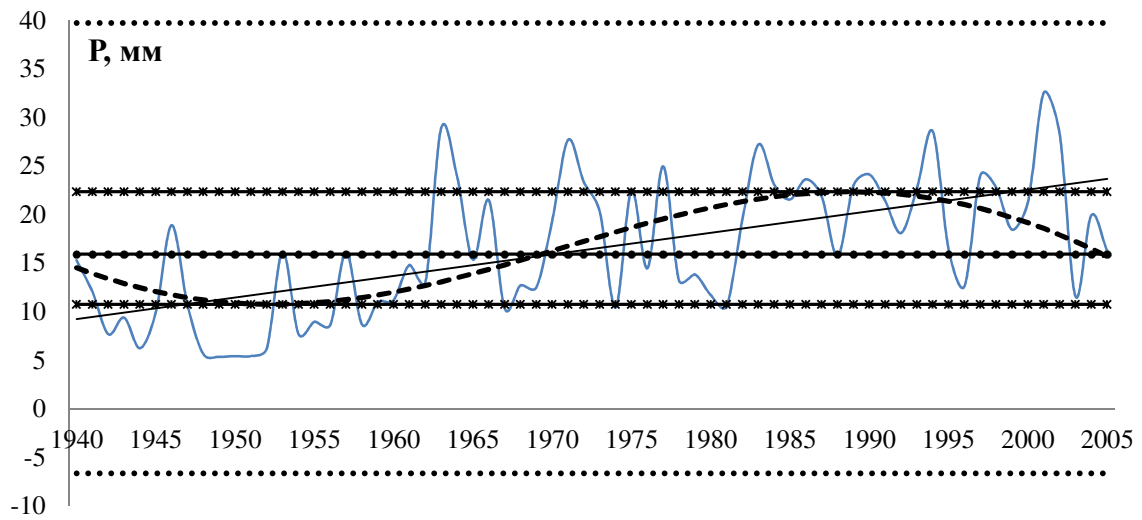
Рисунок А1 - Ежегодные значения температуры воздуха для ст. Атбасар (Ишимский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

а



б



в

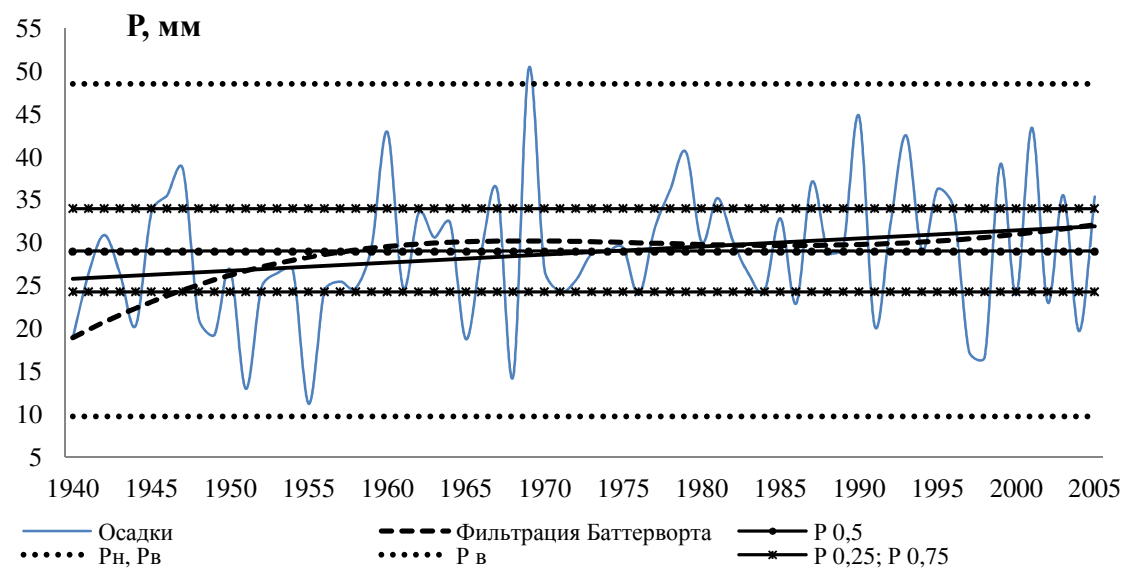


Рисунок А2 - Ежегодные значения слоя осадков для ст. Атбасар (Ишимский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.:
а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

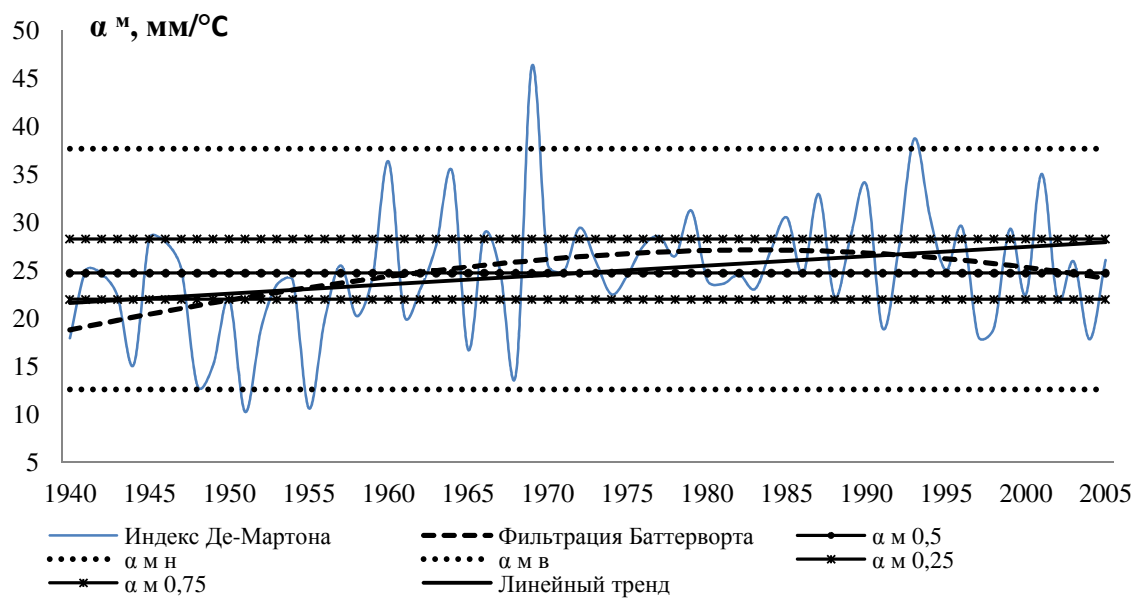
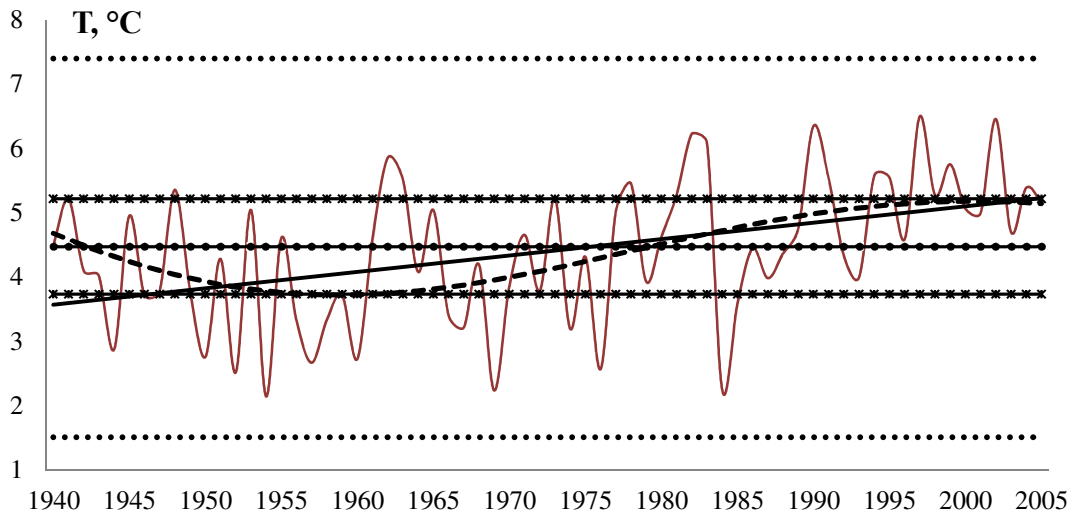
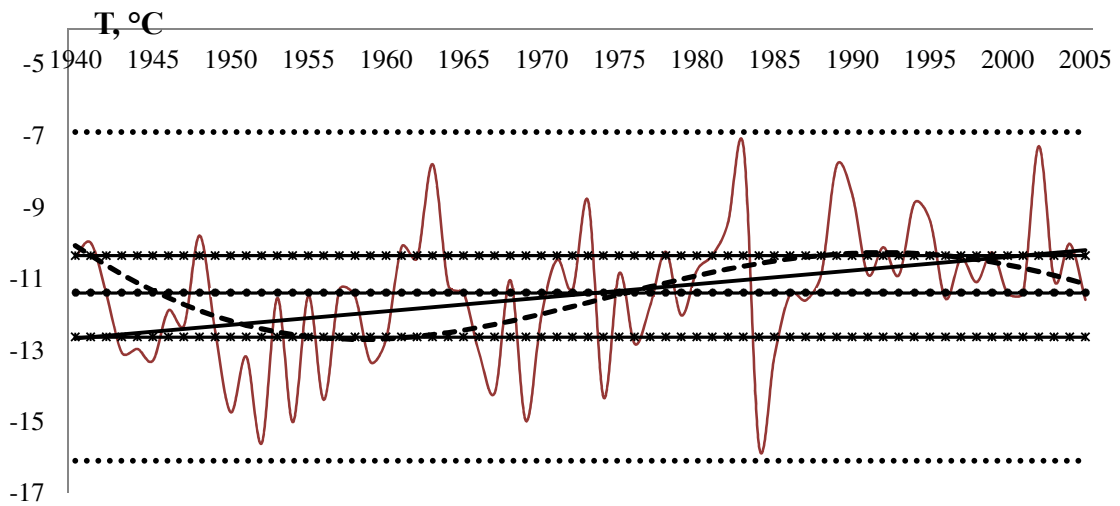


Рисунок А3 - Ежегодные значения индекса Де-Мартона для ст. Атбасар
 (Ишимский ВХБ)
 с 1940 по 2005 гг.: (за год)

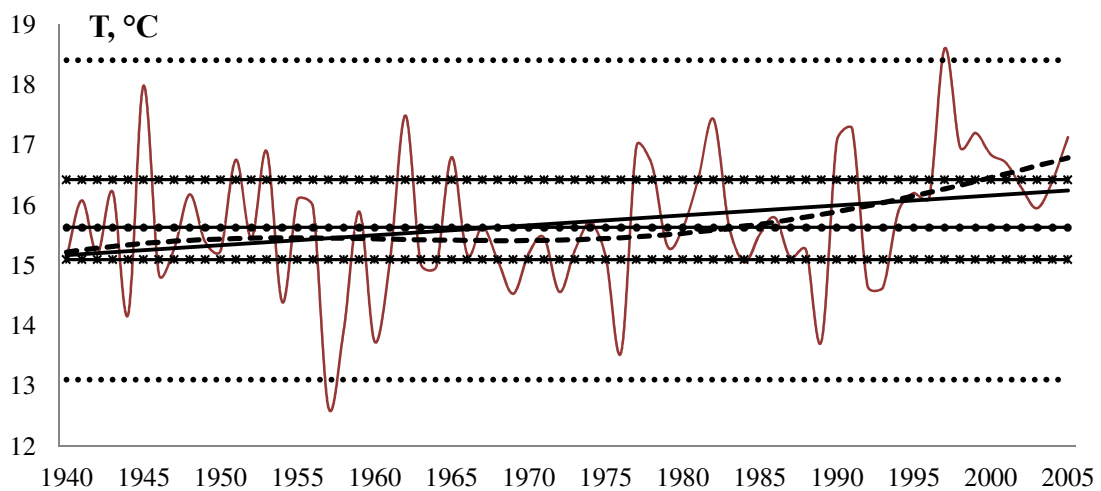
а



б



в



— Температура воздуха

--- Фильтрация Баттерворта

— T 0,5

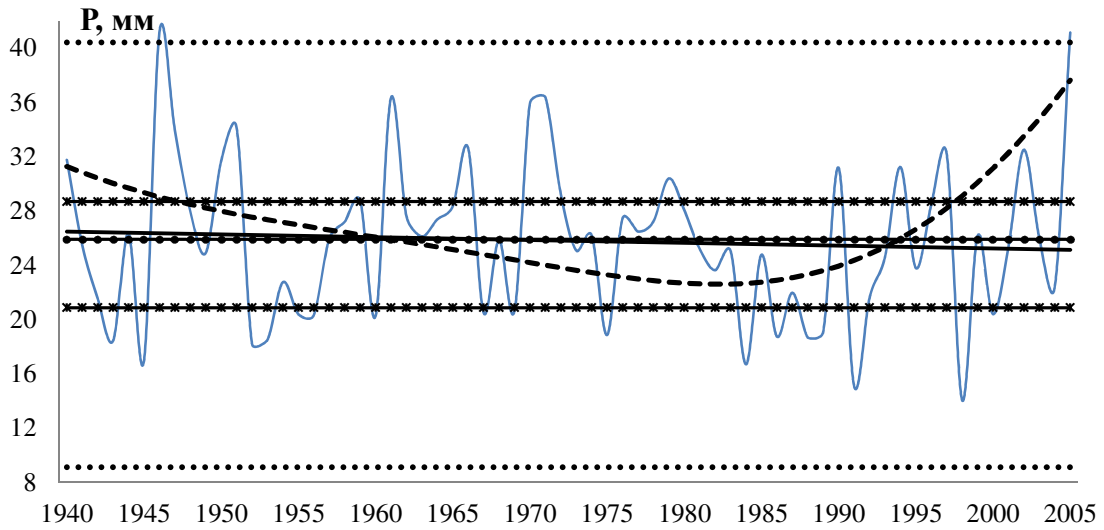
..... Tн, Tв

—*— T 0,25; T 0,75

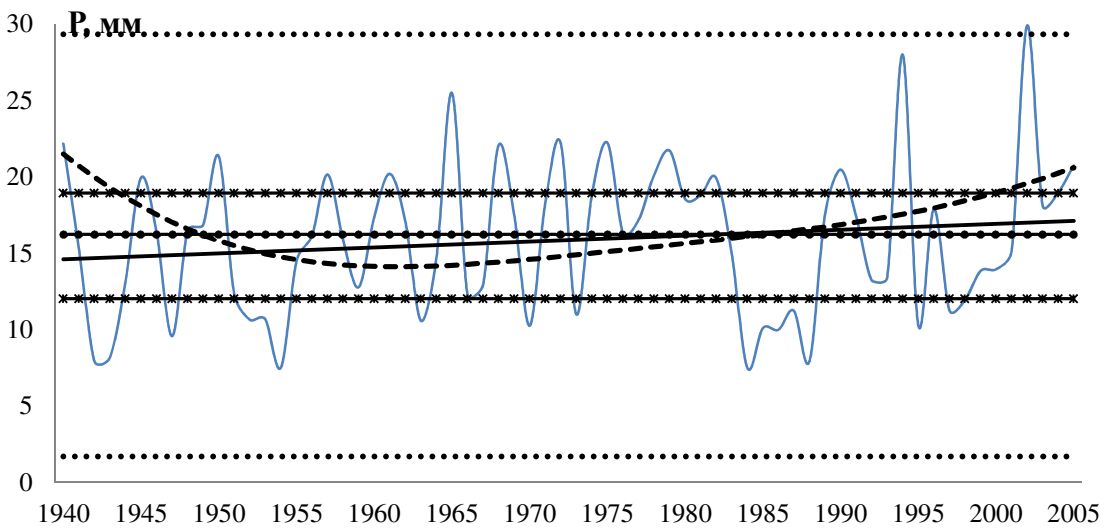
— Линейный тренд

Рисунок А4 - Ежегодные значения температуры воздуха для ст. Зайсан (Иртышский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.: а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

а



б



в

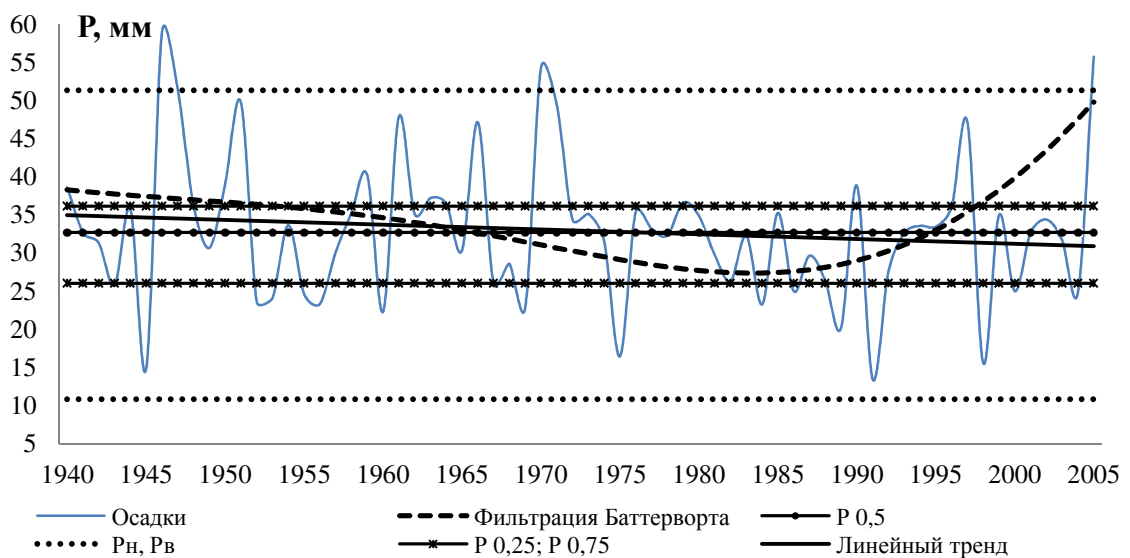


Рисунок А5 - Ежегодные значения слоя осадков для ст. Зайсан (Иртышский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.: а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

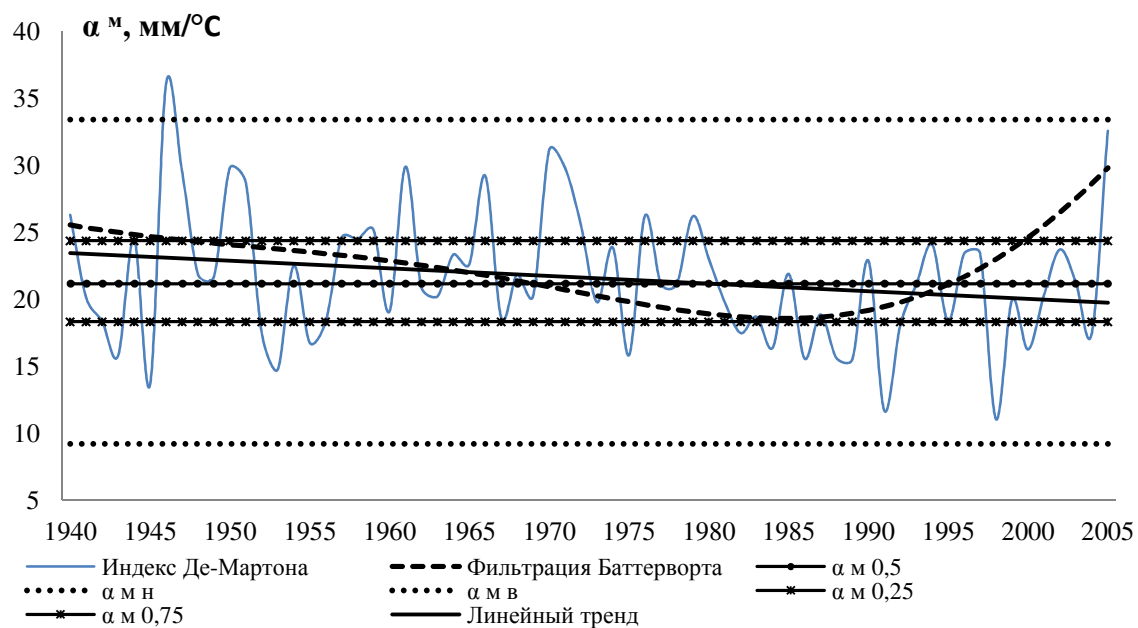


Рисунок А6 - Ежегодные значения индекса Де-Мартона для ст. Зайсан (Иртышский ВХБ) с 1940 по 2005 гг. (за год)

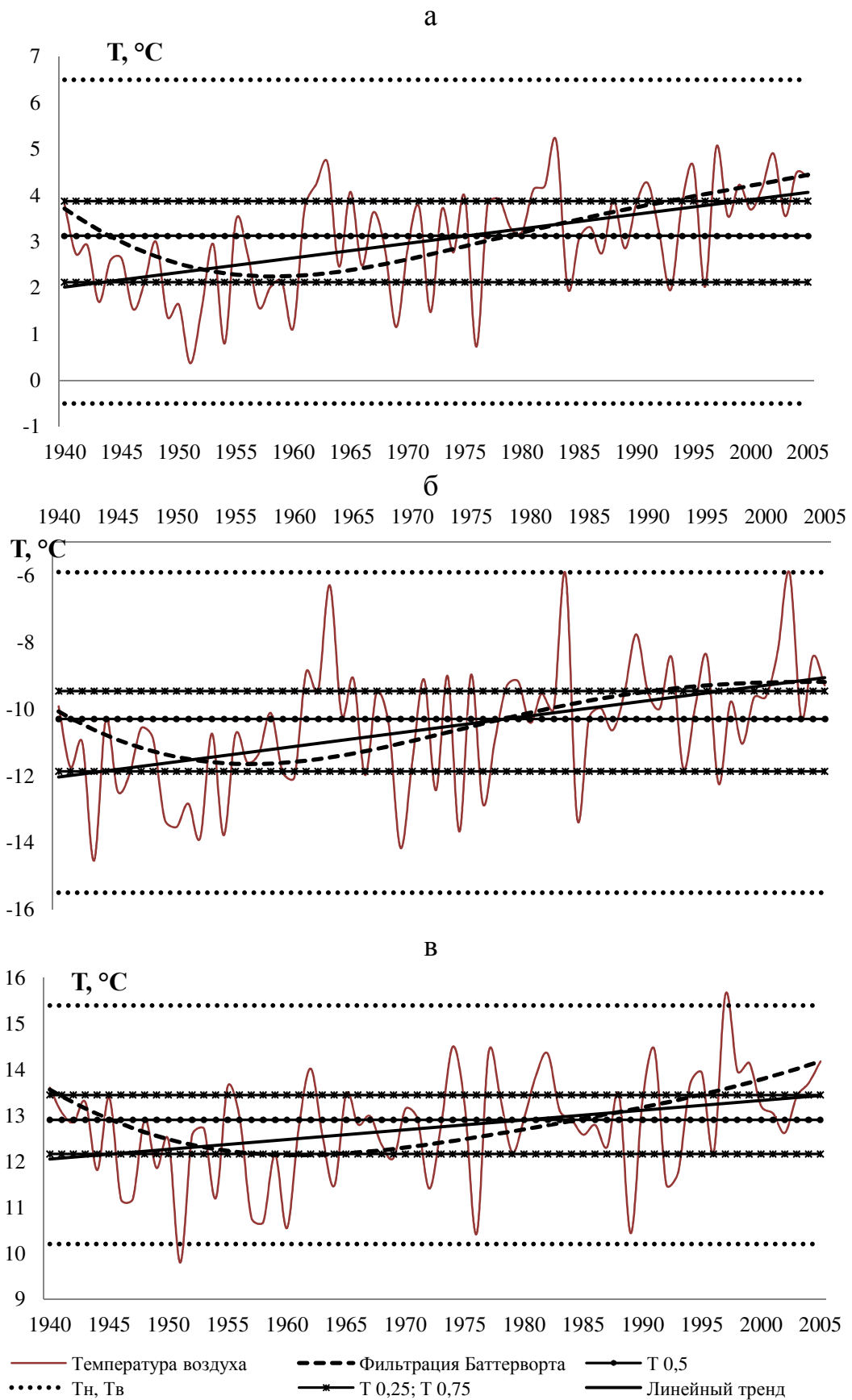
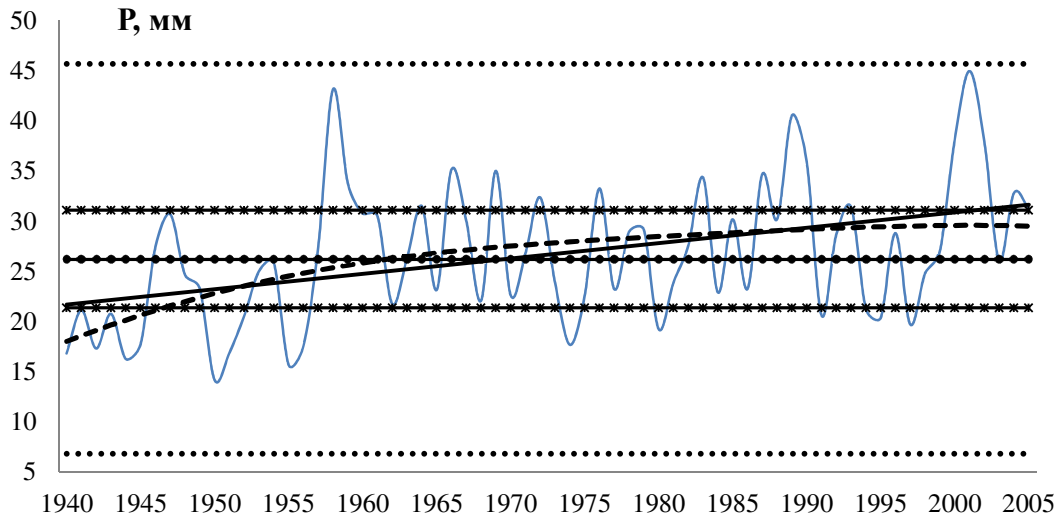
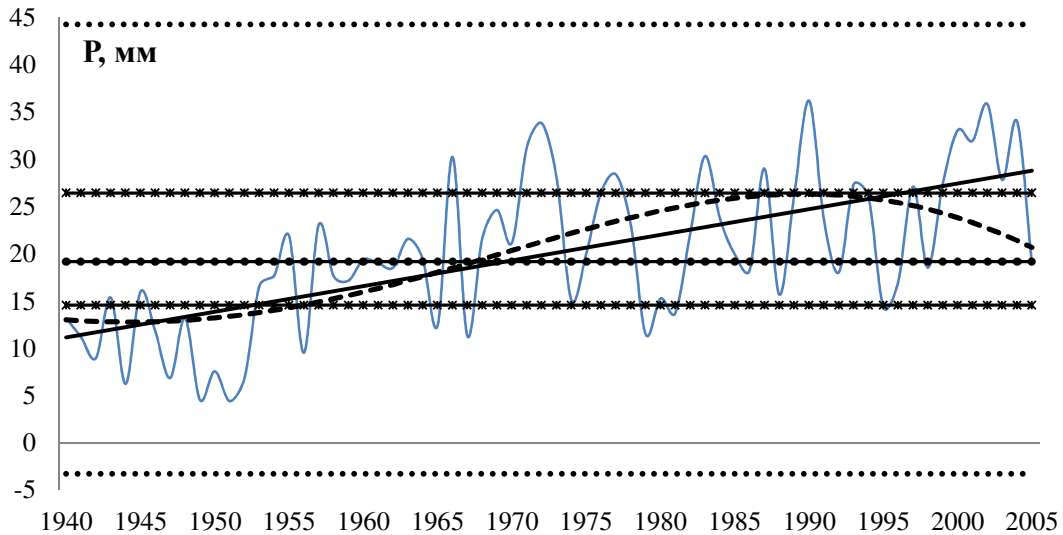


Рисунок А7 - Ежегодные значения температуры воздуха для ст. Караганды (Нура-Сарысуский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.:
 а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

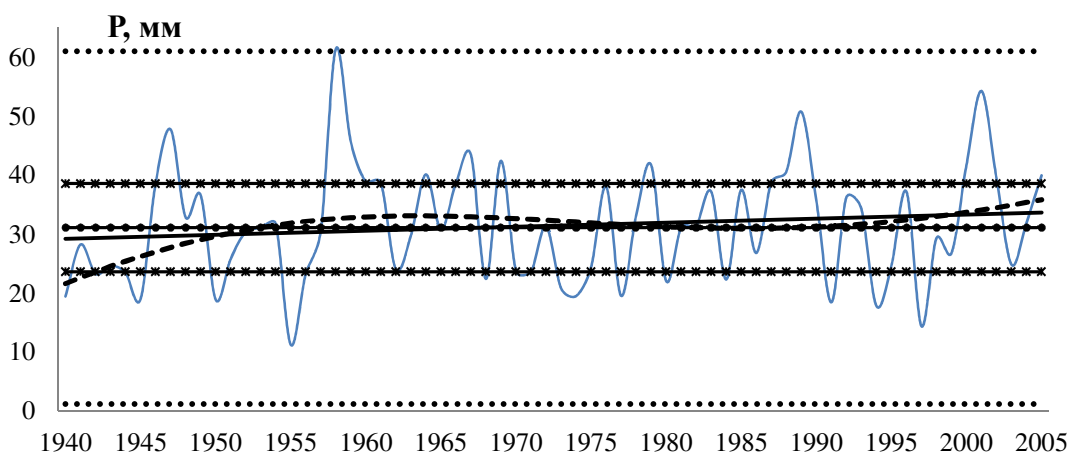
а



б



в



— Осадки
 P_H, P_B
 --- Фiltrация Баттерворта
 *— $P_{0,25}; P_{0,75}$
 — $P_{0,5}$
 — Линейный тренд

Рисунок А8 - Ежегодные значения слоя осадков для ст. Караганды (Нура-Сарысуский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

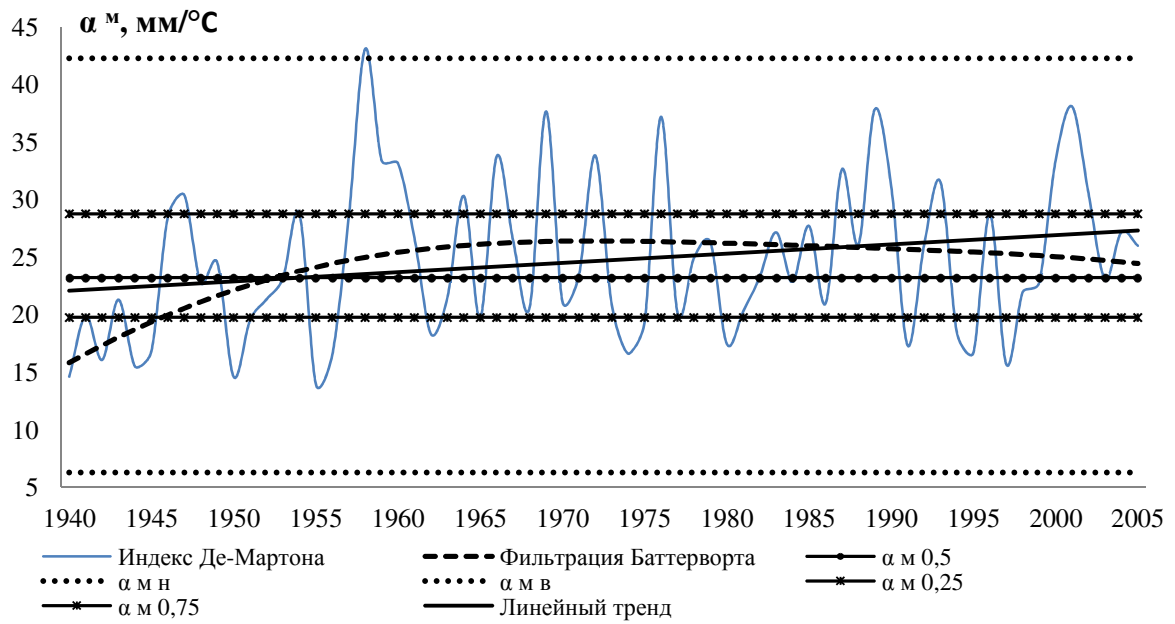


Рисунок А9 - Ежегодные значения индекса Де-Мартона для ст. Караганды (Нура-Сарысуский ВХБ) с 1940 по 2005 гг. (за год)

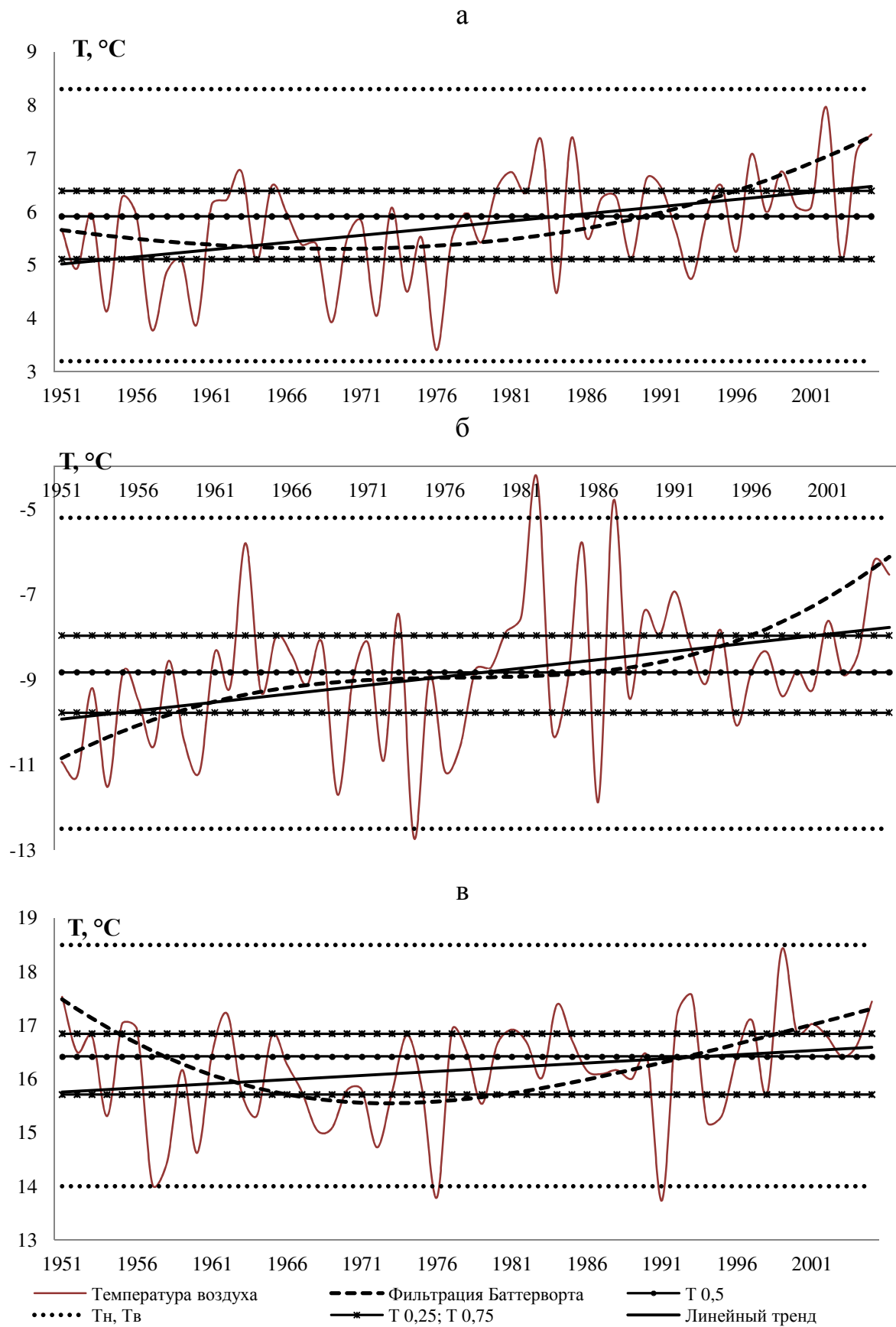
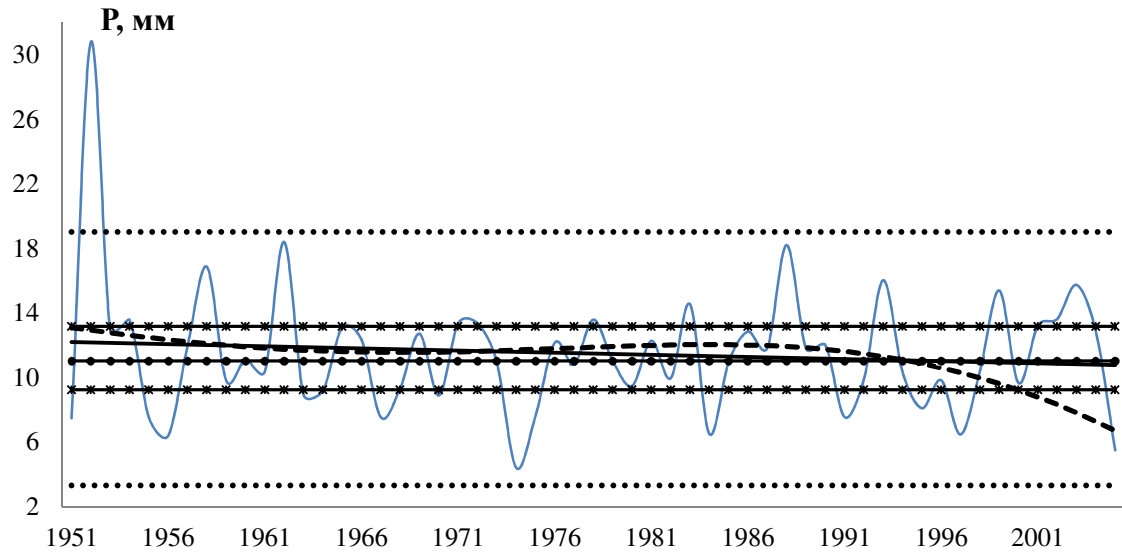
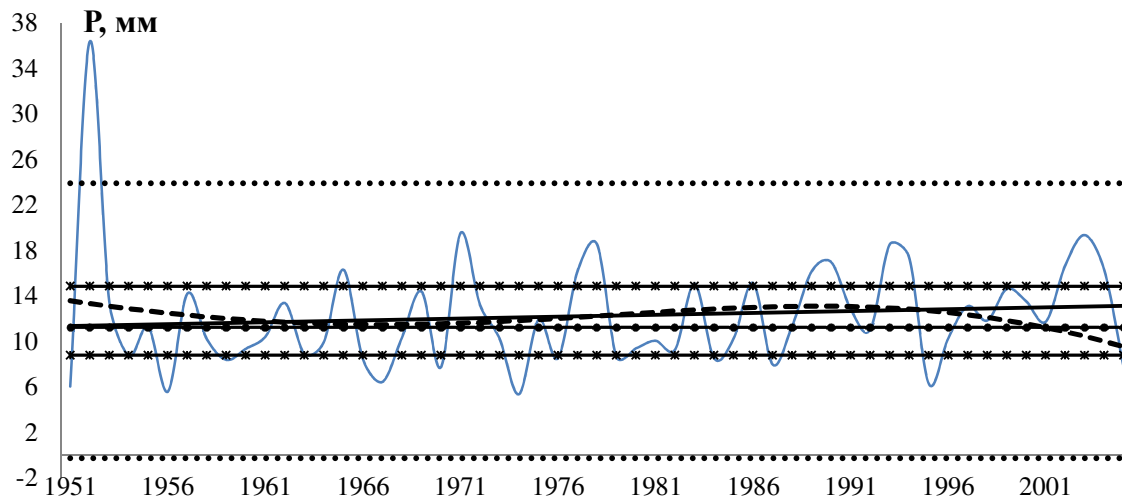


Рисунок А10 - Ежегодные значения температуры воздуха для ст. Балхаш
 (Балхаш-Алакольский) с 1951 по 2005 гг.:
 а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

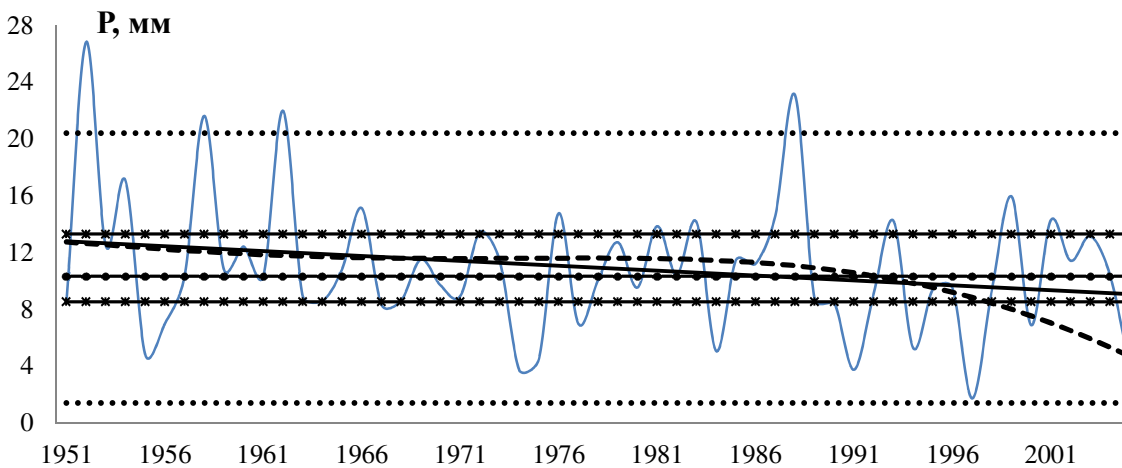
а



б



в



— Осадки
 P_H, P_B
 - - - - - Фильтрация Баттерворта
 * * * * * $P_{0,25}; P_{0,75}$
 —●— $P_{0,5}$
 — Линейный тренд

Рисунок А11 - Ежегодные значения слоя осадков для ст. Балхаш
 (Балхаш-Алакольский ВХБ) с 1951 по 2005 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

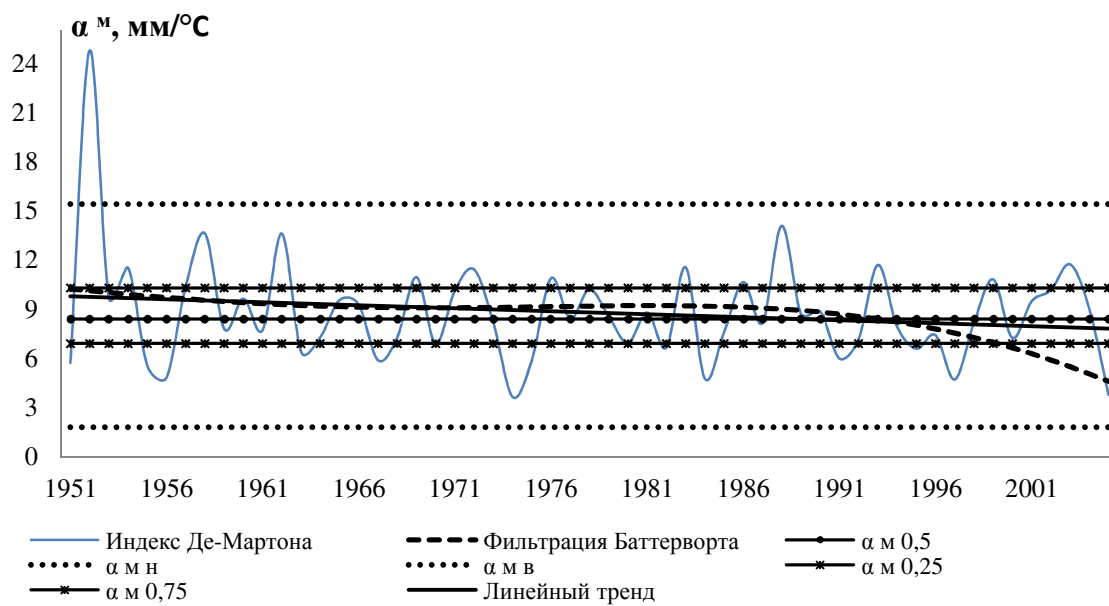
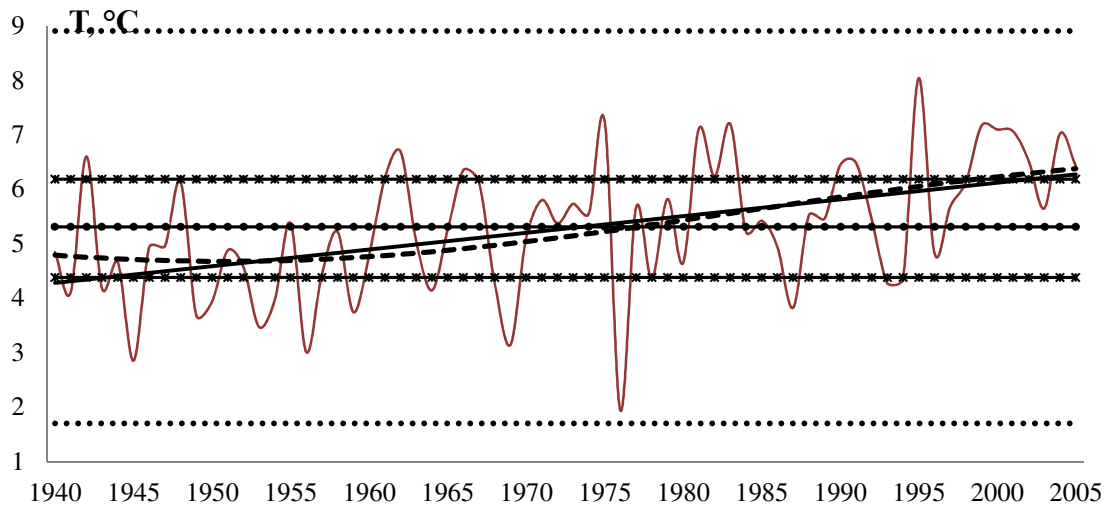
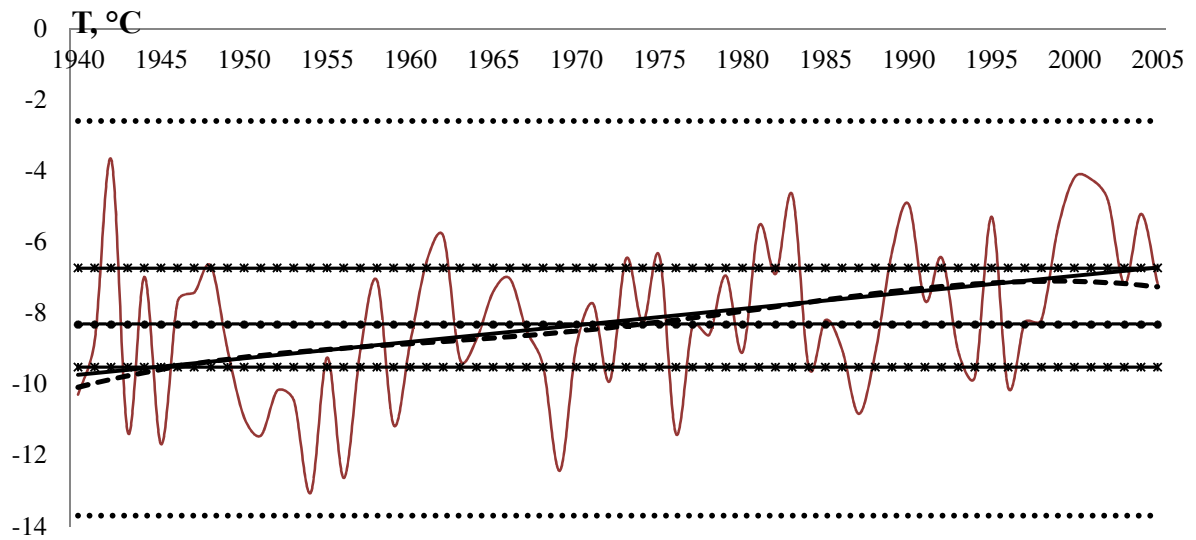


Рисунок А12 - Ежегодные значения индекса Де-Мартона для ст. Балхаш (Балхаш-Алакольский ВХБ) с 1951 по 2005 гг. (за год)

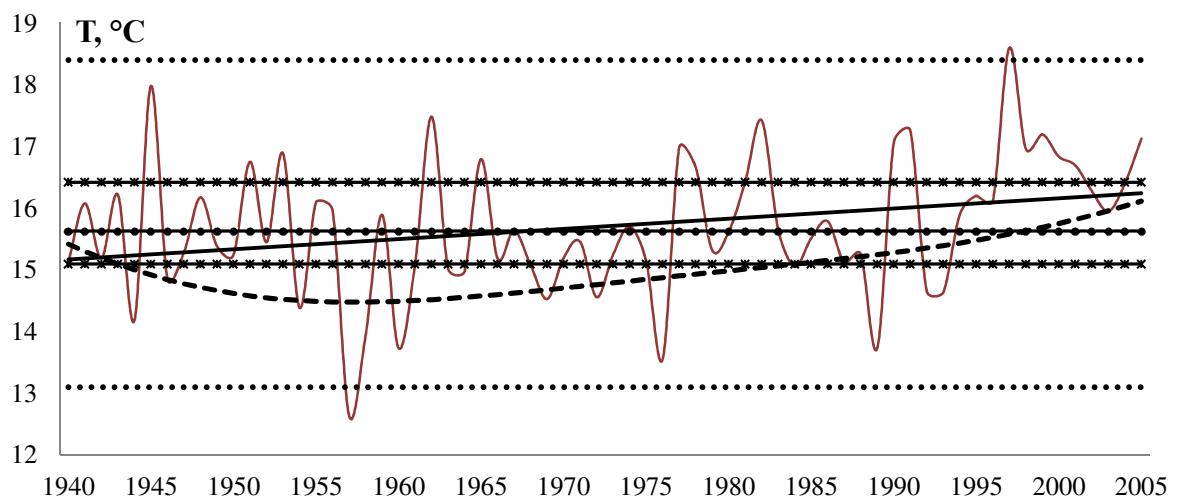
а



б



в

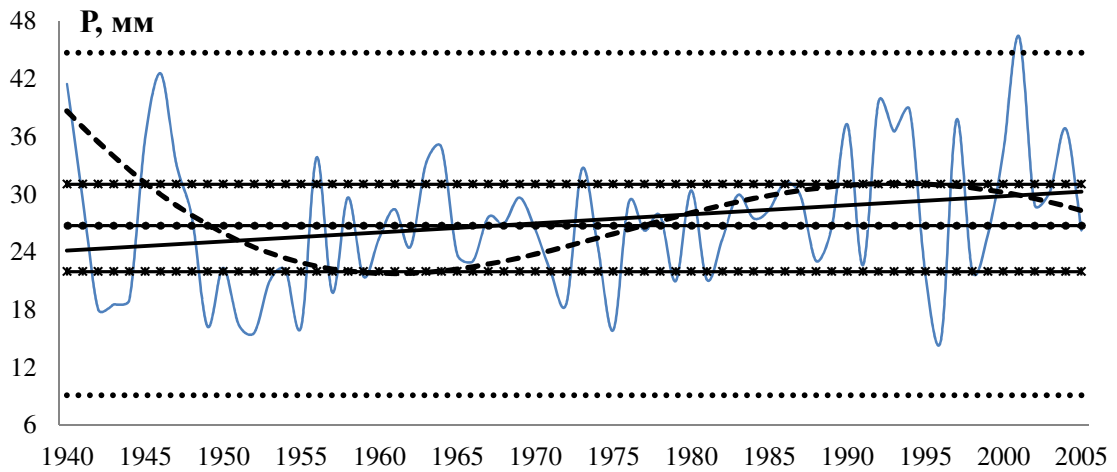


— Температура воздуха - - - - - Фильтрация Баттерворта —•— T 0,5
 T_н, T_в —*— T 0,25; T 0,75 — Линейный тренд

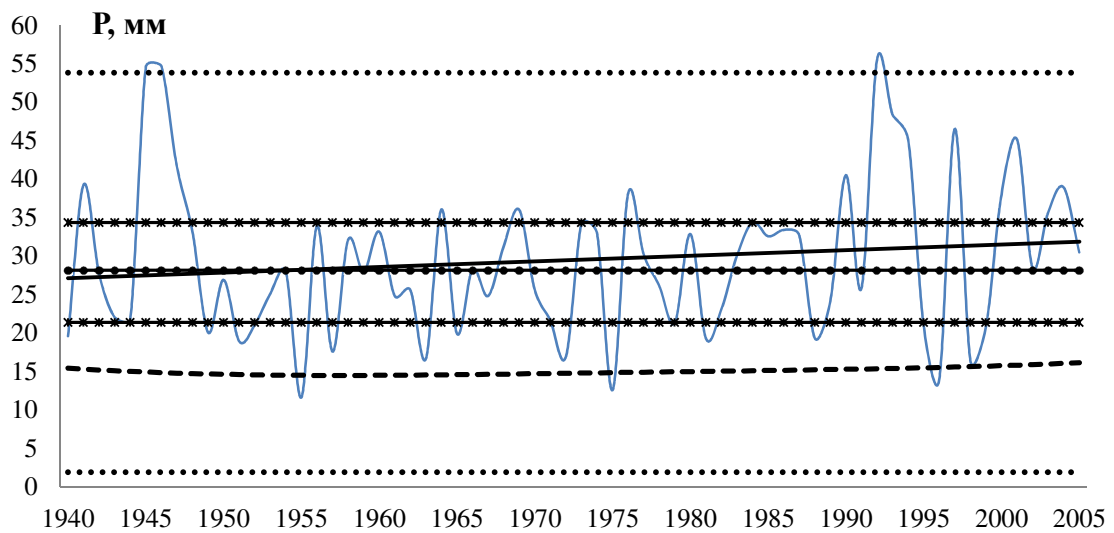
Рисунок А13 - Ежегодные значения температуры воздуха для ст. Уральск (Урало-Каспийский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

а



б



в

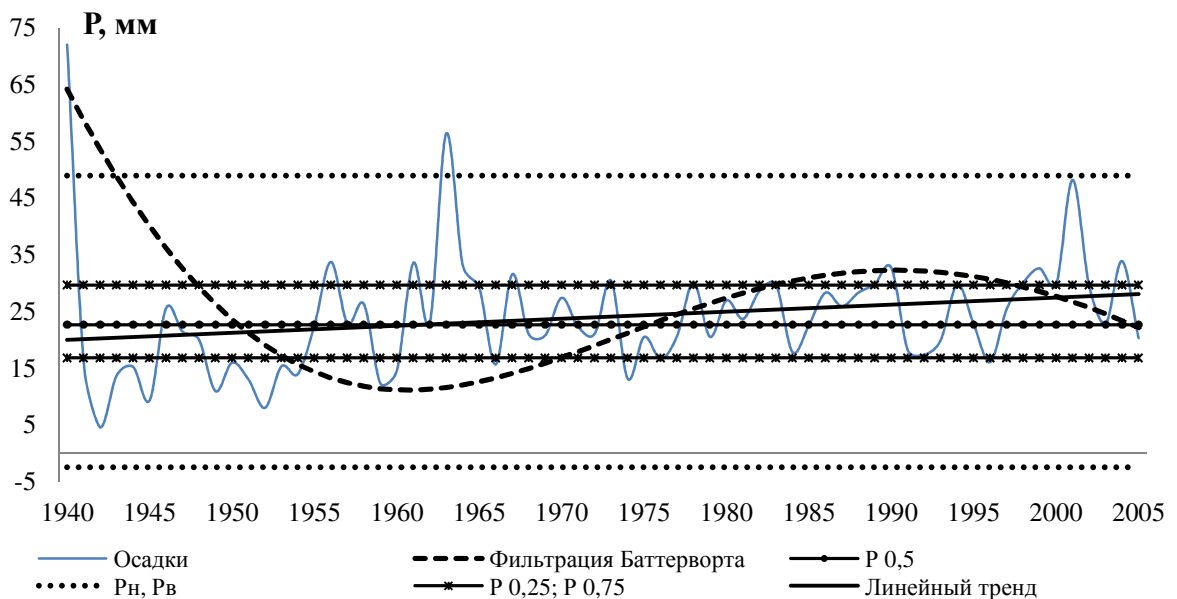


Рисунок А14 - Ежегодные значения слоя осадков для ст. Уральск
(Урало-Каспийский ВХБ) с 1940 по 2005 гг.:

а – за год; б – за холодный период; в – за теплый период

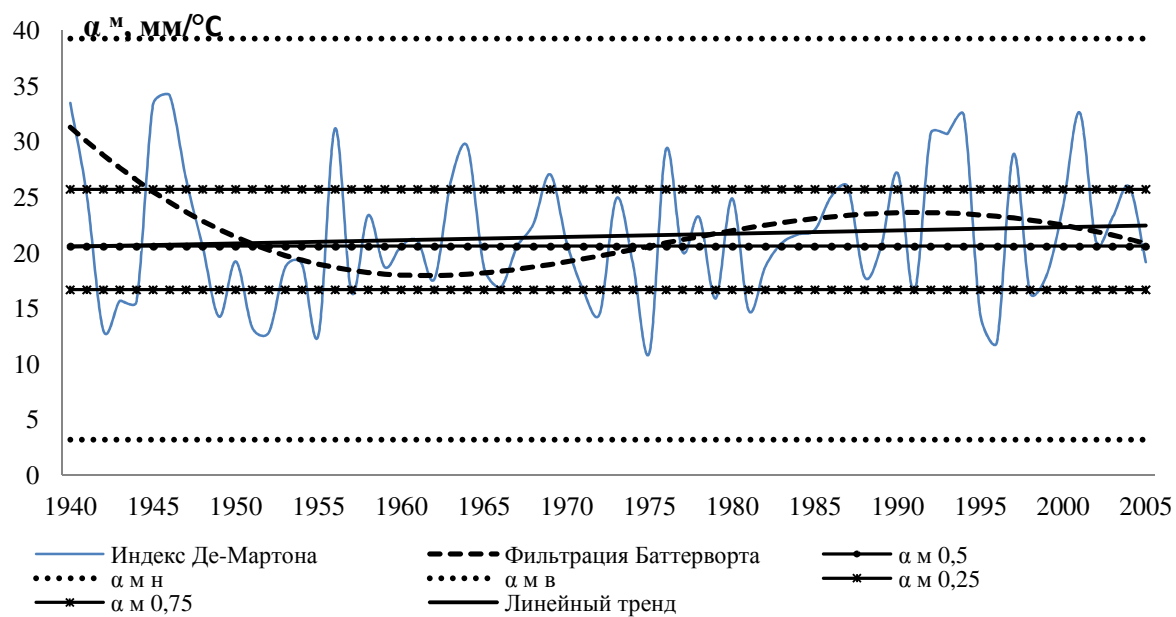


Рисунок А15 - Ежегодные значения индекса Де-Мартона для ст. Уральск (Урало-Каспийский ВХБ) с 1940 по 2005 гг. (за год)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Рассчитанные коэффициенты внешнего водообмена озер Северного Казахстана (по притоку, притоку и осадкам, испарению)

№	Название	$K_{в\text{ пр}}$	$K_{в\text{ пр+х}}$	$K_{в\text{ е}}$
1	Озеро б/н	0.144	0.982	1.716
2	Майбалык	0.114	0.252	0.305
3	Борлыкуль	0.019	0.144	0.396
4	Бозайгыр	0.14	0.209	0.196
5	Арык-Балык	0.202	0.43	0.479
6	Карагайчик	0.027	0.256	0.486
7	Токсумак	0.267	0.399	0.4
8	Батпакколь	0.021	0.221	0.45
9	Зерендинское	0.038	0.103	0.144
10	Сабундыколь	0.015	0.083	0.19
11	Айдабуль	0.066	0.207	0.309
12	Озеро б/н 2	0.183	0.364	0.587
13	Жукей	0.027	0.083	0.142
14	Б. Чебачье	0.011	0.038	0.061
15	Сор	1.969	3.136	2.233
16	Балыктыколь	0.224	0.46	0.677
17	Кумдыколь	0.073	0.144	0.21
18	Жамантуз	0.026	0.264	0.496
19	Имантау	0.024	0.077	0.118
20	Атансор	0.07	0.19	0.333
21	Итеймен	0.183	0.483	0.69
22	Алтайсор	4.317	6.617	7.2
23	Колдар	0.245	0.361	0.229
24	Б.Тарангул	0.066	0.187	0.263
25	Алабота	0.436	1.178	1.914
26	Копа	1.095	1.224	0.3
27	Теке	0.039	0.679	1.32
28	Аксуат	0.045	0.252	0.447
29	Карасор	0.071	0.459	0.8
30	Селетынгиз	0.009	0.06	0.186
31	Абалыкуль	0.107	0.361	0.477
32	Акжан	0.03	0.38	0.55
33	Аксуат	0.118	0.278	0.83
34	Альпаш	0.032	0.129	0.181
35	Баян	0.044	0.214	0.305
36	Белое	0.056	0.176	0.236
37	Бугровое	0.123	0.377	0.454

38	Гусиное	0.141	0.45	0.527
39	Джекекуль	0.044	0.181	0.254
40	Екатериновское	0.022	0.194	0.293
41	Ескине	0.069	0.276	0.436
42	Желандыкуль	0.035	0.235	0.388
43	Железное	0.052	0.221	0.316
44	Кайран	0.078	0.306	0.457
45	Капсыткуль	0.066	0.436	0.67
46	Козявочное	0.024	0.25	0.413
47	Косагач	0.031	0.251	0.407
48	Курункуль	0.015	0.193	0.344
49	Куюнгуль	0.026	0.346	0.61
50	Малкар	0.043	0.373	0.68
51	Мухтыкуль	0.028	0.273	0.573
52	Палочное	0.046	0.191	0.268
53	Плоское	0.033	0.174	0.268
54	Полковникова	0.021	0.115	0.174
55	Пронькино	0.051	0.206	0.264
56	Рявкино	0.075	0.358	0.492
57	Сандыкуль	0.037	0.382	0.678
58	Сивкого	0.032	0.129	0.268
59	Стрелецкое	0.019	0.279	0.413
60	Студеное	0.035	0.154	0.227
61	Суаткуль	0.069	0.356	0.413
62	Султан	0.126	0.684	0.957
63	Сулы	0.057	0.313	0.419
64	М. Тарангул	0.031	0.095	0.135
65	Тулумбай	0.02	0.263	0.436
66	Тюлекуйнак	0.02	0.232	0.381
67	Усердное	0.071	0.26	0.339
68	Усталое	0.035	0.198	0.311
69	Харьковское	0.073	0.363	0.61
70	Шилегино	0.069	0.525	0.644
71	Ялы	0.013	0.154	0.277
72	Горькое-Островки	0.044	0.232	0.359
73	Кривое-Сенжарки	0.027	0.221	0.347
74	Майбалык-Майбалык	0.022	0.17	0.274
75	Питное-Казанка	0.066	0.302	0.429
76	Питное-Островки	0.03	0.169	0.265
77	Горькое-Дубровное	0.025	0.185	0.3
78	Майбалык-Булаевский	0.011	0.268	0.457
79	Жалтыр-Жалтырь	0.03	0.169	0.339
80	Узынкуль-Полтавка	0.026	0.287	0.477

81	Жаркуль-Владимировка	0.037	0.251	0.436
82	Жалтырь-Рябиновское	0.021	0.157	0.277
83	Жалтырькуль	0.156	0.414	0.525
84	Узынкуль-Дмитриевка	0.096	0.336	0.467
85	Айдарша	0.039	0.155	0.426
86	Айтеке	0.011	0.156	0.365
87	Аккудуксор	0.049	0.441	1.25
88	Байгуту	0.041	0.191	0.468
89	бегень	0.056	0.233	0.646
90	Бащесор	0.139	0.225	0.29
91	Бурлю	0.006	0.065	0.206
92	Голубовка	0.028	0.139	0.267
93	Джасыбай	0.007	0.045	0.1
94	Донгеляксор	0.098	0.298	0.84
95	Ерткамаган	0.019	0.151	0.4
96	Жангельды	0.147	0.352	0.805
97	Жаркаин	0.056	0.252	0.584
98	Журумбай	0.213	0.417	0.615
99	Колгуль	0.107	0.323	0.546
100	Итпол	0.032	0.275	0.507
101	Кабан	0.119	0.419	1.063
102	Казы	0.024	0.145	0.424
103	Калатуз	0.001	0.115	0.405
104	Камышное	1.601	2.987	2.886
105	Кангельды	0.036	0.323	0.787
106	Кемиргуз	0.005	0.022	0.074
107	Кожа	0.051	0.169	0.525
108	Кугамыскуль	0.184	0.584	1
109	Кунек	0.029	0.177	0.338
110	Куркулдак	0.03	0.27	0.73
111	Майнак	0.015	0.158	0.333
112	Маралды	0.184	0.467	1
113	Муялды	0.218	0.506	0.981
114	Оманокуль	0.124	0.235	0.319
115	Ортокуль	0.01	0.178	0.368
116	Пришиб	0.037	0.237	0.51
117	Сабундыколь	0.012	0.048	0.121
118	Санкуркуль	0.025	0.151	0.304
119	Сулукуль	0.013	0.102	0.261
120	Тахты	0.073	0.27	0.48
121	Теренкуль	0.08	0.293	0.473
122	Тлеуберды	0.016	0.075	0.247

123	Турайгыр	0.021	0.067	0.147
124	Улькенсон	0.013	0.133	0.372
125	Чикур	0.179	0.499	0.7
126	Шалдык	0.146	0.415	0.538
127	Шарбакты	0.009	0.06	0.186
128	Шобтыкуль	0.069	0.229	0.547
129	Экибастуз	0.12	0.332	0.83

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Исходные данные для расчета морфометрического индекса (MM) внешнего водообмена озер Северного Казахстана

№	Название	F , км ²	A , км ²	K	C_I	V , км ³
1	Озеро б/н	15	1.1	13.64	0.53	0.4
2	Майбалык	15.9	1.3	12.23	0.6	0.005
3	Борлыкуль	18.7	0.8	23.38	0.4	0.2
4	Бозайгыр	24.7	1.2	20.58	0.8	0.004
5	Арык-Балык	25.8	2.2	11.73	0.5	0.004
6	Карагайчик	26.9	2	13.45	0.47	2.9
7	Токсумак	68	6.2	10.97	0.68	0.12
8	Батпакколь	84	7	12	0.77	0.12
9	Зерендинское	87.7	10.7	8.2	0.56	51
10	Сабундыколь	88.5	7.4	11.96	0.52	0.016
11	Айдабуль	110	15.4	7.14	0.63	35
12	Озеро б/н 2	130	6.5	20	0.51	9
13	Жукей	145	19.1	7.59	0.75	91
14	Б. Чебачье	150	22.5	6.67	0.78	0.25
15	Сор	192	5.15	37.28	0.5	0.013
16	Балыктыколь	267	3.2	83.44	0.48	0.035
17	Кумдыколь	299	10.5	28.48	0.79	0.04
18	Жамантуз	350	30.9	11.33	0.38	39
19	Имантау	483	48.9	9.88	0.58	279
20	Атансор	1136	26.7	42.55	0.7	56.6
21	Итеймен	1150	57.4	20.03	0.71	0.06
22	Алтайсор	1302	5.9	220.68	0.5	0.4
23	Колдар	1787	6.51	274.5	0.67	17.9
24	Б.Тарангул	2000	40	20	0.8	0.097
25	Алабота	2240	22.4	100	0.5	7.8
26	Копа	3860	13.1	294.66	0.52	0.03
27	Теке	4240	265	16	0.5	0.13
28	Аксуат	4870	123	39.59	0.31	0.123
29	Карасор	8740	155	56.39	0.4	1.26
30	Селетынгиз	23400	777	30.12	0.59	1.54
31	Абалыкуль	75.3	2.3	32.74	0.54	0.003
32	Акжан	10.1	2.53	3.99	0.59	0.003
33	Аксуат	268	24	11.17	0.63	0.037
34	Альпаш	316	23.8	13.28	0.76	0.05
35	Баян	11.1	1.28	8.67	0.6	0.003
36	Белое	66.6	4.19	15.89	0.69	0.01
37	Бугровое	29.5	1.77	16.67	0.43	0.002

38	Гусиное	36.9	2.28	16.18	0.44	0.003
39	Джекекуль	13.8	1.15	12	0.66	0.0026
40	Екатериновское	81.7	8.16	10.01	0.62	0.0171
41	Ескине	26.8	1.44	18.61	0.48	0.002
42	Желандыкуль	25.9	1.95	13.28	0.57	0.0032
43	Железное	23	2.18	10.55	0.51	0.0042
44	Кайран	9.7	1.44	6.74	0.49	0.002
45	Капсыткуль	7.1	1.36	5.22	0.36	0.0014
46	Козявочное	4.8	1.12	4.29	0.58	0.0017
47	Косагач	7	1.02	6.86	0.48	0.0015
48	Курункуль	6.5	1.37	4.74	0.47	0.0024
49	Куянгиль	9	1.94	4.64	0.34	0.0019
50	Малкар	9.4	2.2	4.27	0.48	0.0022
51	Мухтыкуль	11.6	1.29	8.99	0.45	0.0015
52	Палочное	16.1	1.56	10.32	0.51	0.0034
53	Плоское	20.6	2.79	7.38	0.52	0.006
54	Полковникова	16.2	2.33	6.96	0.77	0.0077
55	Пронькино	20.5	1.12	18.3	0.67	0.0025
56	Рявкино	88.3	7.5	11.77	0.39	0.009
57	Сандыкуль	21.2	3.6	5.89	0.39	0.0031
58	Сивкого	17.9	1.8	9.94	0.73	0.0058
59	Стрелецкое	8.5	2.21	3.85	0.51	0.0033
60	Студеное	11.4	1.17	9.74	0.5	0.003
61	Суаткуль	15.2	1.29	11.78	0.54	0.0019
62	Султан	31.4	4.7	6.68	0.39	0.0036
63	Сулы	36	6.12	5.88	0.63	0.0098
64	М. Тарангул	945	27.9	33.87	0.72	0.0133
65	Тулумбай	12	1.91	6.28	0.49	0.0027
66	Тюлекуйлак	6.1	1.51	4.04	0.44	0.0024
67	Усердное	24	1.42	16.9	0.73	0.0026
68	Усталое	6.9	1.07	6.45	0.54	0.0021
69	Харьковское	55.3	3.33	16.61	0.33	0.0033
70	Шилегино	361	40	9.03	0.32	0.0368
71	Ялы	34.6	34.6	4.27	0.42	0.0094
72	Горькое-Островки	25.6	2.43	10.53	0.52	0.0041
73	Кривое-Сенжарки	5.9	1.06	5.57	0.59	0.0017
74	Майбалык-Майбалык	14.2	2.77	5.13	0.57	0.0066
75	Питное-Казанка	27.2	2.35	11.57	0.53	0.0043
76	Питное-Островки	15.9	0.95	16.74	0.68	0.0023
77	Горькое-Дубровное	43.6	4.04	10.79	0.65	0.0091
78	Майбалык-Булаевский	6.6	1.18	5.59	0.63	0.0023
79	Жалтыр-Жалтырь	26.5	3.94	6.73	0.47	0.0053

80	Узынкуль-Полтавка	33.3	2.74	12.15	0.45	0.0035
81	Жаркуль-Владимировка	21.5	1.58	13.61	0.7	0.0023
82	Жалтырь-Рябиновское	38.2	2.69	14.2	0.73	0.0059
83	Жалтырькуль	242	11	22	0.52	0.0136
84	Узынкуль-Дмитриевка	15.8	1.72	9.19	0.51	0.0026
85	Айдарша	81	2.8	28.93	0.61	0.0055
86	Айтеке	19.1	2.1	9.1	0.56	0.0043
87	Аккудуксор	21.1	1.7	12.41	0.75	0.001
88	Байгуту	30.4	1.3	23.38	0.87	0.00205
89	бегень	141	5.9	23.9	0.48	0.0074
90	Башесор	213	2.9	73.45	0.81	0.0075
91	Бурлю	177	16.1	10.99	0.7	0.0635
92	Голубовка	133	4.1	32.44	0.77	0.0111
93	Джасыбай	27.5	4.4	6.25	0.41	0.0315
94	Донгеляксор	80.4	2.1	38.29	0.77	0.0022
95	Ерткамаган	48.7	3.5	13.91	0.54	0.0067
96	Жангельды	292	5	58.4	0.77	0.005
97	Жаркаин	379	8	47.38	0.83	0.01
98	Журумбай	44.4	1.1	40.36	0.76	0.0015
99	Колгуль	47.4	1.2	39.5	0.87	0.00153
100	Итпол	11	1	11	0.61	0.00138
101	Кабан	23.2	1.5	15.47	0.32	0.00117
102	Казы	101	5.9	17.12	0.73	0.0111
103	Калатуз	77.5	87	0.89	0.61	0.0171
104	Камышное	22.9	0.9	25.44	0.64	0.0012
105	Кангельды	25.6	1.8	14.22	0.47	0.0017
106	Кемиртуз	109	5.4	20.19	5.95	0.0069
107	Кожа	29.6	1	29.6	0.62	0.0016
108	Кугамыскуль	39.4	2.1	18.76	0.58	0.00156
109	Кунек	111	3.5	31.71	0.66	0.0075
110	Куркулдак	48.2	2.8	17.21	0.77	0.0027
111	Майнак	28.6	2.5	11.44	0.6	0.0054
112	Маралды	58.5	1.6	36.56	0.76	0.00126
113	Муялды	62.2	1.1	56.55	0.8	0.00086
114	Оманоккуль	78	2.5	31.2	0.73	0.00652
115	Ортокуль	29.8	4.3	6.93	0.63	0.0082
116	Пришиб	22.7	1	22.7	0.69	0.00145
117	Сабундыколь	88.5	8.1	10.93	0.64	0.0553
118	Санкуркуль	95.1	5	19.02	0.77	0.0114
119	Сулукуль	25.6	2	12.8	0.62	0.0057

120	Тахты	204	3.2	63.75	0.76	0.0049
121	Теренкуль	19	1.2	15.83	0.65	0.0018
122	Тлеуберды	40.4	2.7	14.96	0.64	0.0093
123	Турайгыр	12	1	12	0.62	0.0057
124	Улькенсон	37.6	3.4	11.06	0.93	0.0067
125	Чикур	28.9	1.4	20.64	0.67	0.00148
126	Шалдык	75.3	2.2	34.23	0.48	0.0028
127	Шарбакты	94.7	7.4	12.8	0.59	0.0332
128	Шобтыкуль	102	3	34	0.58	0.0045
129	Экибастуз	96.1	2.8	34.32	0.81	0.0027

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Исходные данные для расчета климатического индекса (CL) внешнего водообмена озер Северного Казахстана

№	Название	с.ш.	В.	Z	T	P
1	Озеро б/н	54.15	69.24	428.8	0.75	300
2	Майбалык	54.17	70.3	304.5	0.75	300
3	Борлыкуль	52.27	71.01	570	1.25	300
4	Бозайгыр	51.29	71.12	396.6	2	300
5	Арык-Балык	52.57	68.14	373	1.25	300
6	Карагайчик	52.49	69.1	500	1.25	300
7	Токсумак	50.4	72.3	439.9	2	300
8	Батпакколь	50.36	74.02	467.2	2	280
9	Зерендинское	52.55	69.07	490	1.25	300
10	Сабундыколь	50.46	74.43	450.14	1.5	280
11	Айдабуль	52.45	69.09	580	0.75	300
12	Озеро б/н 2	50.32	70.03	679.8	2	250
13	Жукей	52.54	70.35	390	1.25	300
14	Б. Чебачье	53.07	70.17	309	1.25	300
15	Сор	53.52	61.18	387.7	1.75	380
16	Балыктыколь	52.28	64.31	441.2	2	280
17	Кумдыколь	50.32	70.44	356	2.25	260
18	Жамантуз	54.02	69.15	560	1.25	300
19	Имантау	53.01	68.17	450	1.25	300
20	Атансор	52.44	71.34	520	1.25	300
21	Итеймен	52.21	71.07	294	1.25	300
22	Алтайсор	52.32	72.08	470	1	300
23	Колдар	53.55	68.07	369	0.75	300
24	Б.Тарангул	54.02	68.28	151.88	0.75	300
25	Алабота	53.45	70.56	490	0.25	300
26	Копа	53.18	69.21	220	1.25	300
27	Теке	53.5	72.56	28	0.25	300
28	Аксуат	51.25	64.27	120.44	2.5	260
29	Карасор	54.12	69.16	621.5	1	300
30	Селетытенгиз	53.18	73.12	64	0.5	300
31	Абалыкуль	54.29	69.53	129	1	300
32	Акжан	53.48	66.4	205	1.25	330
33	Аксуат	53.4	66.27	200	1.25	330
34	Альпаш	53.48	66.27	205	1.25	330
35	Баян	54.29	66.59	147	1.25	350
36	Белое	55.04	68.27	147	0.5	330
37	Бугровое	55.03	69.43	138	0.5	320

38	Гусиное	55.02	70.25	129	0.5	320
39	Джекекуль	54.22	66.4	180	1.25	350
40	Екатериновское	54.34	66.4	158	1.25	350
41	Ескине	54.41	69.54	135	1.25	320
42	Желандыкуль	54.28	69.54	129	1.25	300
43	Железное	54.17	67.2	157	1.25	350
44	Кайран	53.55	67	200	1.25	320
45	Капсыткуль	53.44	66.33	205	1.25	320
46	Козявочное	54.22	66.38	158	1	350
47	Косагач	54.39	68.11	147	1	340
48	Курункуль	54.22	67.23	158	1.25	330
49	Куюнгиль	54.4	68.11	147	0.75	350
50	Малкар	53.41	66.22	200	1.25	320
51	Мухтыкуль	54.15	69.44	135	0.75	300
52	Палочное	55.08	68.58	147	0.5	330
53	Плоское	55.09	68.56	85	0.5	330
54	Полковникова	55.1	69.16	138	0.25	340
55	Пронькино	54.46	70.29	129	0.5	310
56	Рявкино	54.59	70.29	129	0.25	320
57	Сандыкуль	54.38	69.59	129	0.75	300
58	Сивкого	55.13	69.06	85	0.25	350
59	Стрелецкое	54.22	66.4	180	1.75	340
60	Студеное	55.09	68.34	147	0.25	350
61	Суаткуль	54.2	67.02	150	1.25	330
62	Султан	53.45	66.25	200	2	320
63	Сулы	53.43	66.3	200	2	320
64	М. Тарангул	53.43	67.47	220	1.5	320
65	Тулумбай	54.26	67.01	160	1.75	350
66	Тюлекуйлак	54.29	66.47	170	1.5	350
67	Усердное	54.41	66.43	158	1.5	350
68	Усталое	55.1	68.57	130	0.25	320
69	Харьковское	54.41	69.39	129	0.5	320
70	Шилегино	55.07	70.01	138	0.5	320
71	Ялы	54.35	68.28	140	1	320
72	Горькое-Островки	54.39	56.58	160	1.25	350
73	Кривое-Сенжарки	54.47	67.51	140	0.75	350
74	Майбалык-Майбалык	54.16	66.46	165	1.25	340
75	Питное-Казанка	54.42	66.58	150	0.75	350
76	Питное-Островки	54.38	66.58	150	0.75	350
77	Горькое-Дубровное	54.5	68.07	130	0.75	350
78	Майбалык-Булаевский	54.17	70.3	130	0.5	300

79	Жалтыр-Жалтырь	54.29	68.58	110	0.75	320
80	Узынкуль-Полтавка	54.32	69.5	140	0.75	300
81	Жаркуль-Владимировка	54.3	68.1	130	0.75	320
82	Жалтырь-Рябиновское	54.36	68.19	125	0.75	320
83	Жалтырькуль	54.05	67.58	110	0.75	320
84	Узынкуль-Дмитриевка	54.54	67	175	1.25	330
85	Айдарша	51.49	77.49	150	2.25	300
86	Айтеке	53.06	74.05	120	0.5	300
87	Аккудуксор	53.02	75.33	130	0.25	300
88	Байгуту	53.48	75.13	110	0	300
89	Бегень	51.1	79.03	230	2.25	300
90	Башесор	51.5	74.19	250	1.25	300
91	Бурлю	51.49	78	170	2.25	300
92	Голубовка	53.08	74.1	370	0.5	300
93	Джасыбай	50.49	75.36	290	2	300
94	Донгеляксор	51.1	77.15	130	2	300
95	Ерткамаган	52.42	75.25	200	0.75	300
96	Жангельды	51.52	75.23	120	0.75	300
97	Жаркаин	53.03	74.4	650	0.5	300
98	Журумбай	51.13	75.06	130	1.5	300
99	Колгуль	53.39	75.59	120	0	300
100	Итпол	53.46	76.24	320	0.25	300
101	Кабан	50.5	79.23	150	2.25	300
102	Казы	51.42	78.04	150	1.75	300
103	Калатуз	51.53	77.3	130	1.5	300
104	Камышное	53.24	75.09	140	0.25	300
105	Кангельды	53	75.05	145	0.25	300
106	Кемиртуз	51.13	77.15	160	2	300
107	Кожа	51.23	78.07	140	2	300
108	Кугамыскуль	53.54	75.52	600	0.5	300
109	Кунек	53.28	74.47	100	0.25	300
110	Куркулдак	52.55	73.51	120	0.5	300
111	Майнак	53.27	74.24	160	0.25	300
112	Маралды	51.27	78.25	130	2	300
113	Муялды	52.24	77.04	110	1	300
114	Оманоккуль	50.39	75.35	140	1.25	300
115	Ортокуль	53.26	74.24	110	0.25	300
116	Пришиб	53	74.33	300	0.5	300
117	Сабундыколь	50.46	75.43	140	1.25	300
118	Санкуркуль	53.28	74.4	100	0.25	300

119	Сулукуль	52.57	73.54	150	0.5	300
120	Тахты	53.04	74.26	120	0.75	300
121	Теренкуль	53.46	76.35	180	0.25	300
122	Тлеуберды	51.22	78.13	175	1.75	300
123	Турайгыр	50.52	75.4	130	1.5	300
124	Улькенсон	52.52	74.42	190	0.75	300
125	Чикур	53.42	75.45	110	0.25	300
126	Шалдык	54.02	75.56	350	0	300
127	Шарбакты	51.23	78.16	140	2	300
128	Шобтыкуль	51.16	75.48	250	1.25	300